

juni 2004

rapport 812.02

Advies bemesting fosfaat op grasland op basis van twee bodemlagen

ir. E.R. Boons-Prins, NMI

ing. T.A. van Dijk, NMI

ir. H.C. de Boer, P-ASG

ing. G. André, P-ASG

nutriënten management instituut nmi bv

postbus 250

6700 ag wageningen

haagsteeg 2-b

6708 pm wageningen

tel. (0317) 46 77 00

fax (0317) 46 77 01

e-mail nmi@nmi-agro.nl

internet www.nmi-agro.nl

© 2004 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Productschap Zuivel

5 x

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen

10 x

Voorwoord

In 2002 heeft de Commissie Melkveehouderij van het Productschap Zuivel de uitvoering van het project "Advies bemesting fosfaat op grasland op basis van twee bodemlagen" opgedragen aan Nutriënten Management Instituut NMI en het toenmalige Praktijkonderzoek Veehouderij (nu P-ASG: Praktijkonderzoek van de Animal Sciences Group van Wageningen UR). NMI kreeg daarbij de rol van trekkerinstituut. Het resultaat van het project is vastgelegd in dit rapport.

De in dit rapport beschreven literatuurstudie (hoofdstuk 2) is uitgevoerd door de auteurs van NMI. Het samenstellen van de dataset en de statistische analyse daarvan (hoofdstuk 3) is uitgevoerd door de auteurs van het P-ASG. De interpretatie van de resultaten van de statistische analyses is een gezamenlijke verantwoordelijkheid. De evaluatie (hoofdstuk 4) valt onder de verantwoordelijkheid van de projectleider van NMI.

De conclusie van de studie is dat niet geadviseerd wordt om het fosfaatbemestingsadvies voor grasland te baseren op twee bodemlagen, maar dat veehouders bij hun bemestingsstrategie wel rekening kunnen houden met de fosfaattoestand van de bodemlaag 10-20 cm. De resultaten van de studie zijn in december 2003 gepresenteerd aan de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen. Deze Commissie kon zich vinden in de conclusies van de studie.

Oorspronkelijk was NMI-collega Dirk Jan den Boer projectleider van dit project. Kort voor de start van de uitvoering van het project was hij genoodzaakt om het projectleiderschap over te dragen aan ondergetekende. Veel van de ideeën en de methoden die zijn toegepast bij de uitvoering van het onderzoek zijn echter van hem afkomstig. Daarvoor wil ik hem hartelijk bedanken.

Ik hoop dat de inhoud van dit rapport bijdraagt in de kennis over het gedrag van fosfaat in de bodem, met name onder grasland.

Tonnis van Dijk, projectleider

Inhoud

	pagina
Voorwoord	
Samenvatting en conclusies	3
1 Inleiding	5
1.1 Probleemstelling	5
1.2 Belang voor de melkveehouderij	6
1.3 Doel van het onderzoek	6
2 Literatuurstudie	7
2.1 Effect van de fosfaattoestand in de ondergrond op het handhaven van de fosfaattoestand van de bovengrond	7
2.1.1 Inleiding	7
2.1.2 Effect ondergrond op handhaven fosfaattoestand 0-5 cm (Praktijkproef 1, MDM-bedrijven)	7
2.1.3 Effecten ondergrond en fosfaatoverschot op fosfaattoestand 0-5 cm (Praktijkproef 2, Praktijkcijfers I)	9
2.1.4 Handhaven fosfaattoestand bij verschillende niveaus (Praktijkproef 2, Praktijkcijfers II)	11
2.1.5 Samengevat	17
2.2 Effect van de fosfaattoestand in de ondergrond op de drogestof- en de fosfaatopbrengst	17
2.2.1 Vakkenproef met verschillende fosfaatprofielen	17
2.2.2 Proefveld Moergestel	18
2.2.3 Proefveld Bosma Zathe	20
3 Statistische analyse van het effect van het P-AL-getal van de ondergrond op de benodigde fosfaatbemesting	22
3.1 Inleiding	22
3.2 Dataset	22
3.3 Analyse en model	23
3.4 Resultaten	24
3.4.1 Schatting drogestofopbrengst per jaar	24
3.4.2 Schatting van het over het jaar gemiddelde fosfaatgehalte.	25
3.4.3 Schatting drogestofopbrengst en fosfaatgehalte van de eerste snede	26
3.5 Conclusie	28
3.6 Slotopmerkingen	28
4 Evaluatie	29
5 Literatuur	31
Bijlagen	
1. Toegepaste modellen	32
2. Resultaten van modelberekeningen per jaar voor proefveld Bosma Zathe	34

Samenvatting en conclusies

Het fosfaatbemestingsadvies op grasland is gebaseerd op de fosfaattoestand van de bovengrond (laag 0-5 cm, sinds 2002 0-10 cm). Onder andere als gevolg van graslandvernieuwing is de fosfaattoestand (het P-AL-getal) van de laag 10-20 cm op veel percelen gestegen. Recent onderzoek geeft aanleiding om te veronderstellen dat gras heel goed in staat is om fosfaat uit de laag 10-20 cm op te nemen. Bovendien bleek het P-AL-getal van de laag 10-20 cm van invloed te zijn op de verandering van het P-AL-getal van de bovengrond en de hoeveelheid fosfaat die nodig is op dit P-AL-getal op peil te houden. Op basis van het in dit rapport beschreven onderzoek is beoordeeld of het mogelijk is een fosfaatbemestingsadvies op te stellen dat rekening houdt met het P-AL-getal in de laag 10-20 cm.

In de literatuurstudie is de betekenis van fosfaat in de ondergrond van grasland nagegaan voor

1. de handhaving van de fosfaattoestand van de bovengrond; en
2. de graslandproductie.

Ad 1. Uit de literatuur en recent onderzoek blijkt dat grasland fosfaat uit de ondergrond opneemt. Bij een voldoende fosfaattoestand in de boven- en ondergrond is de productiecapaciteit van grasland hoger dan bij een lage toestand in de boven- en ondergrond.

Bij een vrij lage of voldoende fosfaattoestand in de bovengrond, gecombineerd met een voldoende toestand in laag 10-20 cm is geadviseerd de fosfaatbemesting uit te voeren overeenkomstig het huidige advies. De fosfaattoestand in laag 10-20 cm zal dan minder snel dalen dan bij bemesting beneden het advies. Na herinzaai kan het grasland dan meerdere jaren fosfaat uit de ondergrond benutten. De productiecapaciteit van het grasland is hierdoor groter. Bij een ruim voldoende of hogere fosfaattoestand in boven- en ondergrond is, naast een kleine gift in het voorjaar, een fosfaatbemesting in principe niet nodig. Daarom is het advies om op deze percelen minder dierlijke mest toe te dienen dan op percelen met een voldoende of lagere fosfaattoestand in de boven- en ondergrond. Percelen met een lagere fosfaattoestand in de ondergrond hebben juist een hogere fosfaatbemesting nodig om het P-AL-getal in laag 0-5 cm op peil te houden.

Door bemonstering en analyse van de ondergrond ontstaat de mogelijkheid rekening te houden met de fosfaattoestand in de ondergrond en een meer evenwichtige fosfaatbemesting over te graslandpercelen toe te passen.

Ad 2. Uit een vakkenproef en uit de resultaten van een aantal proefvelden blijkt dat de fosfaattoestand van de laag 10-20 cm een effect heeft op de drogestofproductie. Dit effect is meetbaar als de fosfaattoestand van de bovengrond relatief laag en dat van de ondergrond hoog is. Naast het effect op de drogestofproductie is er ook een positief effect op de fosfaattoestand van de bovengrond.

De resultaten van de literatuurstudie en eigen ervaringen uit fosfaatbemestingsonderzoek leiden tot de hypothese dat in het fosfaatbemestingsadvies mogelijk rekening kan worden gehouden met de fosfaattoestand van de ondergrond. Om deze hypothese te toetsen zijn gegevens van een aantal fosfaatbemestingsproeven, waarvan de fosfaattoestand van zowel de boven- als de ondergrond bekend was, statistisch geanalyseerd.

De uitkomst van dit onderzoek is dat de fosfaattoestand van de laag 10-20 cm inderdaad een effect heeft op de drogestofopbrengst, maar dat dit onafhankelijk is van de fosfaatbemesting en bij een stikstofbemestingsniveau van $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ zelfs negatief is. Dat betekent derhalve dat de fosfaattoestand van de ondergrond geen aanleiding geeft om de fosfaatbemesting aan te passen.

Voor het P-gehalte van het gras is er op jaarbasis wel een gering positief effect van het P-AL-getal van de ondergrond waar te nemen. Dit is evenmin aanleiding om het bemestingsadvies aan te passen.

Een verklaring voor het resultaat van deze analyse is mogelijk het volgende. Op basis van onderzoeksresultaten van afzonderlijke proefvelden is gebleken dat bij een lage fosfaattoestand van de bovengrond en een (relatief) hoge fosfaattoestand van de ondergrond het fosfaat uit de ondergrond significant bijdraagt aan de drogestofproductie van het gras en indirect aan een verhoging van het P-AL-getal van de bovengrond. Via de bijdrage van fosfaat uit de ondergrond aan het P-AL-getal van de bovengrond verandert het bemestingsadvies automatisch. Aanpassen van het bemestingsadvies op basis van twee bodemlagen is derhalve niet nodig.

De conclusies en aanbevelingen van het in dit rapport beschreven onderzoek zijn als volgt samen te vatten:

1. Fosfaat uit de bodemlaag 10-20 cm heeft soms een effect op de drogestofproductie van gras. Zonder N-bemesting is dit effect positief, bij $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ blijkt uit de statistische analyse het effect negatief te zijn.
2. Een hoog P-AL-getal in de laag 10-20 cm leidt ertoe dat het P-AL-getal van de bovengrond sneller stijgt of minder snel daalt, waardoor het bemestingsadvies gemiddeld lager blijft dan bij percelen met een laag P-AL-getal in de bodemlaag 10-20 cm.
3. Er is geen aanleiding om het fosfaatbemestingsadvies voor grasland te differentiëren op basis van de fosfaattoestand van twee bodemlagen (0-10 en 10-20 cm).
4. Voor rundveehouders kan het van belang zijn om de fosfaattoestand van de bodemlaag 10-20 cm te kennen, omdat ze met hun fosfaatbemestingsstrategie (over meer dan één jaar) daarmee rekening kunnen houden.

1 Inleiding

In de zestiger jaren van de vorige eeuw was het fosfaatgehalte van de bodemlaag 0-5 cm van grasland vaak hoger dan dat van de laag 5-20 cm. Vanaf die tijd is de veedichtheid in Nederland gestaag toegenomen (Wadman et al., 1987). Daarmee nam ook de toediening van dierlijke mest per ha grasland toe. In Gortel is met een elfjarige proef het effect van jaarlijkse stalmestgift op blijvend grasland op lichte zandgrond bestudeerd. Deze proef laat zien dat op deze grond bij een jaarlijkse fosfaatgift groter dan $105 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ de fosfaattoestand van de grond binnen de proefperiode reeds tot op een diepte van 50 cm toenam (Van Dijk et al., 1990).

Verder is de toepassing van graslandvernieuwing vanaf de zeventiger jaren sterk toegenomen (Aarts et al., 2002). Op zandgrond omvat die momenteel jaarlijks 9-15 procent van het areaal (55.000 ha per jaar van de 450.000 ha grasland op zandgrond). Hierdoor worden de grondlagen gemengd, waardoor de ondergrond (laag 10-20 cm) relatief rijker aan fosfaat wordt dan voor de herinzaai.

Gras kan fosfaat uit diepere lagen dan de doorgaans bemonsterde laag van 0-5 cm (tegenwoordig 0-10 cm) benutten. Dit blijkt onder andere uit een vakkenproef van De Willigen & Van Noordwijk (1987), waarbij verschillende bodemlagen uiteenlopende fosfaattoestanden hebben. De drogestof- en fosfaatopbrengst uit een profiel met een P-AL-getal van 35 in laag 0-5 cm en van 10 in laag 5-20 cm en de opbrengsten van een profiel met een P-AL-getal van 10 in laag 0-15 cm en van 35 in laag 15-20 cm waren opvallend gelijk. Het gewogen gemiddelde P-AL-getal was in beide profielen 17. De opbrengst op beide genoemde profielen kwam goed overeen met die van een profiel met een P-AL-getal van 17 in de gehele kolom van 0-20 cm. De opbrengst op een profiel met P-AL-getal 35 in de gehele kolom van 0-20 cm was echter aanmerkelijk hoger.

Uit recent onderzoek op 430 percelen van bedrijven die deelnamen aan het project Praktijkcijfers 1 (Den Boer et al., 2001) bleek de verandering van het P-AL-getal in laag 0-5 cm afhankelijk te zijn van het P-AL-getal in diepere bodemlagen. De hoeveelheid fosfaat die nodig is om het P-AL-getal in laag 0-5 cm op peil te houden is lager naarmate het P-AL-getal in laag 5-20 cm hoger is. De plantenwortel neemt dus kennelijk fosfaat uit deze diepere lagen op. Dit opgenomen fosfaat komt gedeeltelijk via de mest en afgestorven plantenresten weer op de bovengrond terecht. Door de opname van fosfaat uit de ondergrond zal het P-AL-getal in deze bodemlaag op termijn gaan dalen. Er is recent onderzoek beschikbaar waarin het P-AL-getal in de ondergrond gedurende meerdere jaren is gemeten en waaruit het effect van het P-AL-getal in de ondergrond op dat in de bovengrond en op de opbrengst is gemeten.

1.1 Probleemstelling

Informatie uit verschillende graslandprojecten geeft aan dat er een invloed lijkt te zijn van de fosfaattoestand van de ondergrond (laag 10-20 cm) op het handhaven van de fosfaattoestand van de bovengrond. De fosfaattoestand in de ondergrond varieert sterk, van lager tot aanzienlijk hoger dan het P-AL-getal in laag 0-5 cm. In deze studie wordt het effect van fosfaat uit de ondergrond op de fosfaattoestand van de bovengrond besproken. Een bemestingsadvies dat vervolgens rekening houdt met de fosfaattoestand in de ondergrond en dat mogelijkheden aangeeft om dit fosfaat te benutten, ontbreekt.

1.2 *Belang voor de melkveehouderij*

In het kader van de (aangescherpte) regelgeving voor fosfaat in Minas en in de nog vast te stellen gebruiksnormen en voor het realiseren van een optimale gewasproductie is het van belang om

- een goed inzicht te hebben in het effect van verschillende hoeveelheden fosfaat in de ondergrond op graslandopbrengst en -kwaliteit; en
- te beschikken over een bemestingsadvies dat rekening houdt met het fosfaat in de ondergrond en dat mogelijkheden aangeeft om dit fosfaat beter te benutten. Hierdoor kan op een aanvullende bemesting met kunstmestfosfaat worden bespaard.

1.3 *Doel van het onderzoek*

Het opstellen van een bemestingsadvies voor fosfaat op grasland dat rekening houdt met de fosfaattoestand in de ondergrond en dat mogelijkheden aangeeft om dit fosfaat beter te benutten.

2 Literatuurstudie

In dit overzicht worden informatie uit de literatuur en gegevens van onderzoek (en uit monitoring) besproken met als doel de betekenis van fosfaat in de ondergrond (laag 5-20 cm of 10-20 cm) van grasland

- voor de handhaving van de fosfaattoestand in de bovengrond en
- voor de graslandproductie

beter te begrijpen. Tevens kan dan beter worden beargumenteerd hoe bij de fosfaatbemesting rekening kan worden gehouden met de beschikbare hoeveelheid fosfaat in de ondergrond.

2.1 *Effect van de fosfaattoestand in de ondergrond op het handhaven van de fosfaattoestand van de bovengrond*

2.1.1 Inleiding

Het fosfaatbemestingsadvies op grasland was tot eind 2002 gebaseerd op de fosfaattoestand van de bodemlaag 0-5 cm en is sindsdien gebaseerd op de fosfaattoestand van de bodemlaag 0-10 cm (CBGV, 1998 en 2002). De fosfaattoestand wordt op grasland gekarakteriseerd door het P-AL-getal, uitgedrukt in $\text{mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ droge grond. Het advies is erop gericht om de fosfaattoestand op een waardering 'voldoende' of 'ruim voldoende' te handhaven. Diepere lagen worden over het algemeen niet bemonsterd. Informatie uit verschillende graslandprojecten geeft aan dat er een invloed lijkt te zijn van de fosfaattoestand van de ondergrond (10-20 cm) op het handhaven van de fosfaattoestand van de bovengrond. In de volgende twee paragrafen wordt deze informatie samengevat.

2.1.2 Effect ondergrond op handhaven fosfaattoestand 0-5 cm (Praktijkproef 1, MDM-bedrijven)

Het project Management op Duurzame Melkveebedrijven (MDM) is in 1992 van start gegaan met als doelstelling het realiseren en demonstreren van duurzame melkveehouderij in de praktijk. Voor de deelnemende bedrijven was het doel het verbeteren van de mineralenbenutting met behoud van het economisch rendement. Op de MDM-bedrijven waren 149 percelen aanwezig die gedurende de gehele projectperiode als permanent grasland in gebruik zijn geweest. Voor de hier beschreven proef is een subset van 48 percelen gebruikt. Eén van de doelstellingen van de proef was om na te gaan of er een effect was van fosfaat uit diepere bodemlagen op de verandering van de fosfaattoestand in de bemonsterde bovenlaag van 0-5 cm (Den Boer & Van Middelkoop, 1997).

Op 16 bedrijven zijn in het najaar van 1994 op drie representatieve graslandpercelen per bedrijf de bodemlagen 0-5, 5-10, 10-20 en 20-40 cm bemonsterd en geanalyseerd op het P-AL-getal. In het najaar van 1996 zijn dezelfde percelen opnieuw bemonsterd. Van de 48 percelen vielen er 13 af, onder andere door herinzaai. Voor de analyse van de gemiddelde verandering van het P-AL-getal in laag 0-5 cm zijn de percelen in twee groepen verdeeld. Een groep heeft in laag 0-5 cm een P-AL-getal dat kleiner is dan 40, de andere groep heeft in laag 0-5 cm een P-AL-getal dat groter of gelijk is aan 40. Beide groepen zijn weer opgesplitst in een groep met P-AL-getal groter en kleiner dan een bepaalde waarde in laag 10-20 cm. De waarden staan in Tabel 2.1. In de tabel is een aparte groep opgenomen, waarbij in de laag 10-20 cm het P-AL-getal hoger is dan in de laag 0-5 cm.

Op de percelen met een P-AL-getal < 40 in de laag 0-5 cm was er geen duidelijk effect van de fosfaattoestand in laag 10-20 cm op de verandering van het P-AL-getal in laag 0-5 cm. Naast een

verschil in P-AL-getal in de ondergrond was er tussen de beide groepen tevens een verschil in P-AL-getal in laag 0-5 cm. Op de percelen met een P-AL-getal van gemiddeld 23 is naar verwachting een lager fosfaatoverschot nodig om het P-AL-getal op peil te houden dan op de percelen met een P-AL-getal van gemiddeld 31 (Oenema & Van Dijk, 1994). In werkelijkheid was het fosfaatoverschot op de percelen met het gemiddelde P-AL-getal van 23 hoger, terwijl het P-AL-getal op deze percelen wat minder is gestegen.

Tabel 2.1. Gemiddelde verandering van het P-AL-getal in bodemlaag 0-5 cm onder invloed van het P-AL-getal in bodemlaag 10-20 cm (35 percelen). Bron: Den Boer & Van Middelkoop, 1997.

P-AL-getal laag 0-5 cm	P-AL-getal laag 10-20 cm	aantal percelen	gemiddeld P-AL-getal, 0-5 cm	gemiddeld P-AL-getal, 10-20 cm	bemesting minus advies, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ jaar ⁻¹	fosfaat-overschot, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ jaar ⁻¹	verandering P-AL-getal laag 0-5 cm
< 40	< 20	11	23	12	20	64	+ 6
	> 20	7	31	26	17	58	+ 7
≥ 40	< 30	8	53	17	32	30	- 9
	> 30	9	57	56	6	25	+ 1
P-AL-getal laag 10-20 cm > 0-5 cm		5	46	57	-10	25	+ 8

Op de percelen met een P-AL-getal ≥ 40 in laag 0-5 cm was er wel een duidelijk effect van de fosfaattoestand in laag 10-20 cm op de verandering van het P-AL-getal in laag 0-5 cm. Het gemiddelde P-AL-getal in laag 0-5 cm was vergelijkbaar. Op de percelen met een gemiddeld P-AL-getal van 17 in de bodemlaag 10-20 cm was het P-AL-getal in laag 0-5 cm 9 eenheden gedaald en op de percelen met een gemiddeld P-AL-getal van 56 in laag 10-20 cm één eenheid gestegen. Dit verschil was significant. De percelen waarop het P-AL-getal was gedaald waren gemiddeld juist verder boven het advies bemest (Tabel 2.1). In een meervoudige regressieberekening leverden de hoogte van het P-AL-getal in laag 0-5 cm een negatieve en de hoogte van het P-AL-getal in laag 10-20 cm en van het fosfaatoverschot per ha een positieve bijdrage aan de verandering van het P-AL-getal in laag 0-5 cm. Dit betekent dat een hoger P-AL-getal in de ondergrond een verhogend effect heeft op het P-AL-getal in laag 0-5 cm.

Op de vijf percelen waarvan het P-AL-getal in laag 10-20 cm (ondergrond) hoger was dan dat in bodemlaag 0-5 cm (bovengrond) is, bij een bemesting beneden het advies, het P-AL-getal in laag 0-5 cm zelfs 8 eenheden gestegen (Den Boer & Van Middelkoop, 1997).

Bij een ruime fosfaattoestand in de ondergrond kunnen de graswortels (ook in een droge periode in de zomer) fosfaat opnemen uit de ondergrond. Dit fosfaat komt via de dierlijke mest en via afgestorven plantenresten weer op de bovengrond terecht. Het P-AL-getal in de laag 0-5 cm zal daardoor minder sterk dalen of sterker stijgen dan bij een lagere fosfaattoestand in de ondergrond, waar deze mogelijkheid van fosfaatvoorziening van het gewas ontbreekt. Het benodigde fosfaatoverschot om het P-AL-getal op peil te houden zal daardoor op percelen met een hoge fosfaattoestand in de ondergrond lager zijn dan op percelen met een laag P-AL-getal in de ondergrond (Den Boer & Van Middelkoop, 1997).

2.1.3 Effecten ondergrond en fosfaatoverschot op fosfaattoestand 0-5 cm (Praktijkproef 2, Praktijkcijfers I)

In de periode 1997-1999 is bij 200 deelnemers aan het project Praktijkcijfers I een onderzoek uitgevoerd naar de verandering van de fosfaattoestand van grasland op hun bedrijven. De bedrijven lagen op verschillende grondsoorten (zand, klei, veen, löss). Het onderzoek was met name gericht op het effect van diverse bodemfactoren, zoals de fosfaattoestand in de bodemlaag 5-20 cm en de grondsoort en op het benodigde fosfaatoverschot om de fosfaattoestand in de laag 0-5 cm op 'voldoende' te handhaven. Gemiddeld werd jaarlijks 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ als kunstmest en 91 kg P₂O₅ ha⁻¹ als dunne dierlijke mest toegediend. Uit Tabel 2.2 blijkt dat daarmee gemiddeld 32 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ boven het advies bemest werd. Het berekende jaarlijkse fosfaatoverschot was gemiddeld 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ en het P-AL-getal in de laag 0-5 cm bleef vrijwel gelijk: verandering van 44,9 naar 45,4 (Den Boer & Van Middelkoop, 2001).

Tabel 2.2. Gemiddeld P-overschot (kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹) over 1998 en 1999 per waarderingsklasse van percelen blijvend grasland en de verandering van het P-AL-getal in de jaren 1997-1999. Bron: Den Boer & Van Middelkoop, 2001.

Waardering fosfaattoestand	aantal percelen		gerealiseerd P-overschot	bemesting boven advies	overschot bij advies- bemesting	P-AL-getal in laag 0-5 cm		verandering P-AL-getal in 2 jaar (Δ P-AL ₀₋₅)
	begin	eind				begin	eind	
	kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ jaar ⁻¹							
laag	4	2	141	41	100	15,3	23,8	8,5
vrij laag	68	48	51	-1	52	24	29	5
voldoende	121	122	57	25	32	33,2	36,1	2,9
ruim voldoende	146	171	43	32	10	47	46,8	-0,2
hoog < 70	56	51	51	71	-20	61,3	58,3	-3
hoog ≥ 70	35	36	40	53	-13	94,5	86,8	-7,7
alle percelen	430	430	50	32	18	44,9	45,5	0,6

De verandering van de fosfaattoestand in de laag 0-5 cm is vergeleken met de hoogte van de bemesting ten opzichte van het advies (het fosfaatoverschot van het perceel), de grondsoort, de fosfaattoestand in de laag 5-20 cm en de mate van fosfaatverzadiging van de grond.

Met regressie-analyse is door Den Boer & Van Middelkoop (2001) het volgende verband aangetoond voor de verklaring van de verandering van het P-AL-getal in de laag 0-5 cm tussen 1997 en 1999:

$$\Delta P-AL_{0-5, 1997-1999} = -0,36(P-AL_{0-5}) + 0,20(P-AL_{5-20}) + 1,26(\text{pH-KCl}) + 1,86(\text{alleen bij jonge zeeklei}) + 8,25(\text{alleen bij veen}) - 0,23(\text{humus\%; alleen bij veen}) + 0,034(P_2O_5\text{-overschot})$$

$\Delta P-AL_{0-5, 1997-1999}$ = de verandering van het P-AL-getal in eenheden van de laag 0-5 cm tussen 1997 en 1999.

De verandering van het P-AL-getal is afhankelijk van het niveau van het P-AL-getal in de laag 0-5 cm in de uitgangssituatie. De relatie geeft aan dat het P-AL-getal in de laag 0-5 cm sterker zal dalen als het P-AL-getal in de laag 0-5 cm in de uitgangssituatie hoger is. Een hoger P-AL-getal in bodemlaag 5-20 cm heeft daarentegen een positief effect op de verandering van het P-AL-getal in laag 0-5 cm. Naarmate het P-AL-getal in de ondergrond hoger is zal het P-AL-getal in laag 0-5 cm sterker stijgen (of minder

sterk dalen). De mate en de richting waarin het P-AL-getal in bodemlaag 0-5 cm verandert, is dus afhankelijk van het P-AL-getal in laag 0-5 cm én van de fosfaattoestand in de ondergrond.

Met de formule, die de verandering van het P-AL-getal weergeeft, kan ook het fosfaatoverschot berekend worden dat nodig is om het P-AL-getal in bodemlaag 0-5 cm op een bepaald niveau te handhaven. Dit is het overschot als de verandering van het P-AL-getal (Δ P-AL) nul is.

$$P_2O_5\text{-overschot} = \{0,36(P\text{-AL}_{0-5}) - 0,20(P\text{-AL}_{5-20}) - 1,26(\text{pH-KCl}) - 1,89(\text{alleen bij jonge zeeklei}) - 8,25(\text{alleen bij veen}) + 0,23(\text{humus\%; alleen bij veen})\} / 0,034$$

Dit benodigde fosfaatoverschot is

- hoger naarmate het P-AL-getal in bodemlaag 0-5 cm hoger is;
- lager naarmate het P-AL-getal in bodemlaag 5-20 cm hoger is;
- lager bij een hogere pH;
- lager op jonge zeeklei; en
- lager op veengrond met een laag humusgehalte en hoger op veengrond met een hoog humusgehalte.

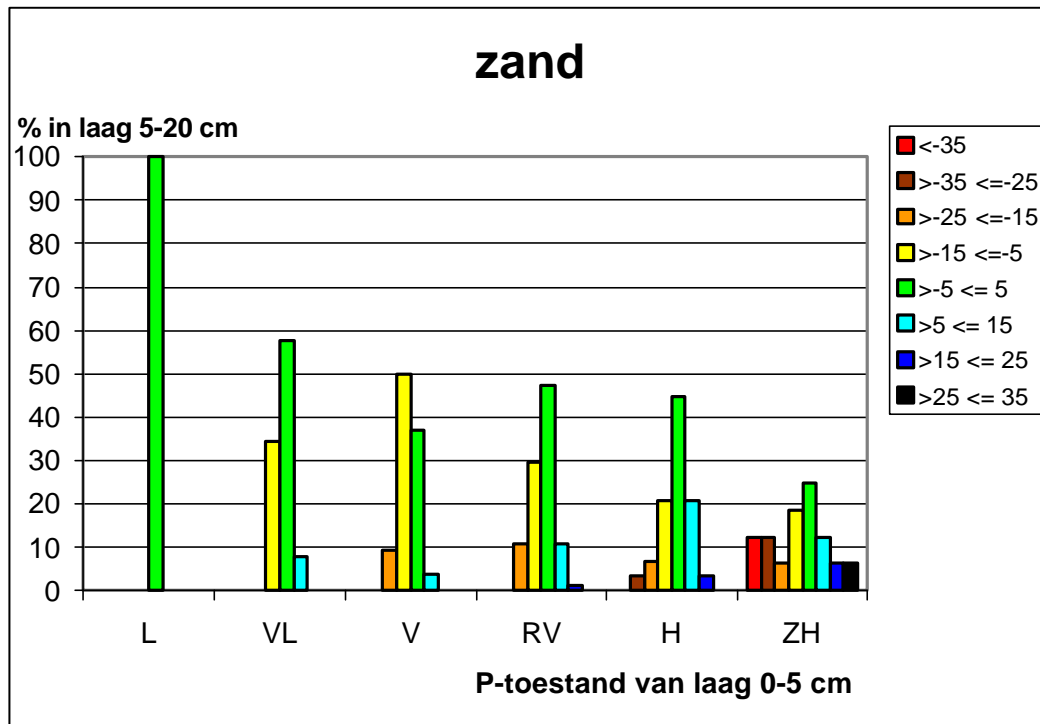
In Tabel 2.3 is voor zandgrond voor de klassen 'voldoende' en 'ruim voldoende' bij de gemeten fosfaattoestand in de lagen 0-5 cm en 5-20 cm en de gemeten pH in laag 0-5 cm het benodigde fosfaatoverschot weergegeven om het P-AL-getal in laag 0-5 cm op peil te houden. De percelen zijn ingedeeld in groepen met een uiteenlopend P-AL-getal in laag 5-20 cm.

Tabel 2.3. Benodigd fosfaatoverschot op zandgrond om de fosfaattoestand in laag 0-5 cm op hetzelfde niveau te handhaven bij fosfaattoestand 'voldoende' en 'ruim voldoende' bij het gemeten P-AL-getal in de bodemlagen 0-5 en 5-20 cm. De percelen zijn ingedeeld in groepen met een uiteenlopend P-AL-getal in laag 5-20 cm. Bron: Den Boer & Van Middelkoop, 2001.

Waardering fosfaattoestand	aantal percelen	P-AL-getal laag 0-5 cm	P-AL-getal laag 5-20 cm	pH-KCl laag 0-5 cm	benodigd overschot, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹
voldoende	5	34,4	15,1	5,4	74
	27	34,3	23,7	5,2	27
	20	34,9	34,5	5,1	-26
	2	38,5	50,5	5,3	-92
ruim voldoende	8	49,0	30,3	5,4	137
	22	48,1	38,1	5,5	77
	35	47,1	46,7	5,3	21
	8	48,5	56,5	5,0	-10
	1	54,0	69,7	4,8	-25

Duidelijk is binnen de klassen met een waardering van de fosfaattoestand 'voldoende' en 'ruim voldoende' te zien dat het benodigd overschot om het P-AL-getal in laag 0-5 cm op peil te houden afneemt naarmate het P-AL-getal in laag 5-20 cm hoger is. Er is ongeveer 50 kg P₂O₅ extra aan fosfaatoverschot nodig om het P-AL-getal in laag 0-5 cm op 47 (bij een zelfde P-AL-getal in laag 5-20 cm) te handhaven dan om het P-AL-getal op 35 te handhaven.

In Figuur 2.1 is per waarderingsklasse van de fosfaattoestand van de bovengrond aangegeven welk percentage van de percelen een lager, vergelijkbaar of hoger P-AL-getal heeft in de laag 5-20 cm. Uit de gegevens blijkt dat op zandgrond bij een behoorlijk aantal percelen (12 procent) het P-AL-getal in de ondergrond (laag 5-20 cm) hoger is dan in de zodenlaag (laag 0-5 cm). Daarnaast is er een groot aantal percelen waarvan het P-AL-getal in laag 5-20 cm vergelijkbaar is met dat van laag 0-5 cm. Op klei- en veengrond is het P-AL-getal in de laag 10-20 cm veelal lager. Dit komt omdat op zandgrond het gras vaker gescheurd wordt, waardoor het fosfaat van de zodenlaag naar de ondergrond wordt verplaatst (Den Boer & Van Middelkoop, 2001; Aarts et al., 2001).



Figuur 2.1. Frequentieverdeling (in procenten) van het aantal percelen op zandgrond met een lager, vergelijkbaar of hoger P-AL-getal in laag 5-20 cm dan in laag 0-5 cm (fosfaattoestanden: L = laag, VL = vrij laag, V = voldoende, RV = ruim voldoende, H = hoog, ZH = zeer hoog).

Conclusies

Voor het bemestingsadvies werd tot voor kort altijd de laag 0-5 cm bemonsterd. Wanneer de laag 0-5 cm een hoog P-AL-getal heeft, is er meer fosfaat nodig om de fosfaattoestand in die laag te handhaven, dan wanneer deze bodemlaag een laag P-AL-getal heeft.

Om de fosfaattoestand in de laag 0-5 cm van een perceel te kunnen handhaven is het nodig om de fosfaattoestand van de ondergrond (5-20 cm) te kennen. Is de fosfaattoestand van laag 5-20 cm laag, dan zal er een groter fosfaatoverschot nodig zijn om het fosfaatsniveau van laag 0-5 cm op peil te houden, dan wanneer de fosfaattoestand van de laag 5-20 cm hoog is.

2.1.4 Handhaven fosfaattoestand bij verschillende niveaus (Praktijkproef 2, Praktijkcijfers II)

A. Fosfaattoestand voldoende

Een P-AL-getal van 39 is de bovengrens van het waarderingstraject voldoende. Van de 430 representatieve percelen hadden er 121 een voldoende fosfaattoestand (Tabel 2.4). Deze percelen zijn

gemiddeld bemest met 27 kg P₂O₅ uit kunstmest en 87 kg P₂O₅ ha⁻¹ uit dierlijke mest. Het advies was 89 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹. De percelen zijn gemiddeld 25 kg P₂O₅ ha⁻¹ boven het advies bemest. Als er in het voorjaar 25 m³ ha⁻¹ dunne mest wordt toegediend kan de kunstmestfosfaat zonder bezwaar worden weggelaten. Er wordt dan 2 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ onder het advies bemest.

Tabel 2.4. Gemiddelde fosfaatbemesting per jaar (kg P₂O₅ ha⁻¹) in 1998 en 1999 per waarderingsklasse op 430 graslandpercelen.

Waardering	aantal percelen	fosfaatgift in kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ jaar ⁻¹			
		kunstmest	organische mest	bemestings-advies	bemesting boven advies
laag	4	63	144	166	41
vrij laag	68	34	81	116	- 1
voldoende	121	27	87	89	25
ruim voldoende	146	13	92	73	32
hoog <70	56	9	107	45	71
hoog ≥ 70	35	11	88	46	53
alle percelen	430	20	91	79	32

Het gerealiseerde overschot (het verschil tussen de aanvoer en de afvoer van fosfaat) op de genoemde percelen was 57 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ (Tabel 2.2). Als het kunstmestfosfaat wordt weggelaten is het overschot nog 30 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹. Bij een P-AL-getal van 39 in bodemlaag 0-5 cm én in laag 5-20 cm kan met een overschot van -17 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ worden volstaan om het P-AL-getal in laag 0-5 cm op 39 te handhaven. De fosfaatbemesting via dierlijke mest is dan nog 47 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ hoger dan het berekende overschot dat nodig is om het P-AL-getal in laag 0-5 cm op 39 te handhaven. De genoemde 87 kg P₂O₅ uit dierlijke mest komt overeen met circa 50 m³ dunne rundermest ha⁻¹. Op veel melkveebedrijven is op grasland gemiddeld 50-70 m³ dunne rundermest ha⁻¹ jaar⁻¹ beschikbaar. Overwogen kan worden op genoemde percelen minder fosfaat uit dunne mest toe te dienen. De vraag is echter of een veehouder dit bij een voldoende fosfaattoestand in de lagen 0-5 en 5-20 cm wel toe moet passen.

Indien een veehouder besluit op genoemde percelen met de dierlijke mest 87 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ toe te dienen, dan zal de fosfaattoestand van bodemlaag 0-5 cm gaan stijgen richting een P-AL-getal van 45. Tegelijkertijd wordt fosfaat uit de ondergrond opgenomen. Het P-AL-getal in laag 5-20 cm gaat daardoor dalen. Zo ontstaat een nieuw evenwicht. Bij een P-AL-getal van 45 in laag 0-5 cm en 40 in laag 5-20 cm is op zandgrond een overschot nodig van circa 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ (zie verderop, Figuur 2.6). Bij een P-AL-getal van 45 in laag 0-5 cm en 35 in laag 5-20 cm is dit al circa 70 kg P₂O₅ ha⁻¹ (Figuur 2.6). Het P-AL-getal in laag 0-5 cm zal dus bij een overschot van 30 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ weer gaan dalen.

Overwegingen

1. Als er met dierlijke mest 87 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ wordt gegeven is de bemesting bij een P-AL-getal met waardering 'voldoende' op de genoemde percelen in grote lijnen overeenkomstig het advies. Indien de fosfaatgift via dierlijke mest lager is zal er (verder) beneden het advies bemest worden. Het P-AL-getal in laag 0-5 cm zal dan minder stijgen. Tegelijkertijd zal er meer fosfaat uit de ondergrond worden opgenomen. Het P-AL-getal in de laag van 5-20 cm zal dan sneller dalen. Het lijkt aantrekkelijk de grasmat na herinzaai gedurende een aantal jaren de gelegenheid te geven

fosfaat uit de ondergrond op te nemen. Het grasland zal hiervan vooral in drogere perioden profiteren. De productiecapaciteit van het grasland is bij een voldoende fosfaattoestand in de ondergrond hoger. Een hogere productiecapaciteit van het grasland betekent tevens een betere benutting van de gegeven stikstof.

2. Het fosfaatoverschot op de representatieve percelen was gemiddeld $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ (Tabel 2.2). Dit overschot was als volgt opgebouwd: gemiddeld is er $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ aangevoerd met kunstmest, $91 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ door het uitrijden van dierlijke mest en $48 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ is in de vorm van mestflatten door het vee teruggebracht in de weide. De afvoer van fosfaat door maaien en weiden was gemiddeld $109 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Jaarlijks wordt door melkvee zo'n 7 à 8 procent van de oppervlakte met mestflatten bedekt. De genoemde $48 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ uit weidemest is dus terechtgekomen op 8 procent van de oppervlakte. Op de plaats van de mestflatten is dan gemiddeld zo'n $600 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ toegediend. Op de 92 procent van de oppervlakte tussen de mestflatten wordt in grote lijnen, indien geen kunstmestfosfaat wordt toegediend, bemest naar een overschot van $-18 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (91 minus $109 \text{ kg P}_2\text{O}_5$). Ook op percelen op zandgrond met een P-AL-getal in de boven- en ondergrond van 35-40 lijkt het daarom gewenst niet minder dan circa $90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ te geven. Dit komt overeen met het huidige advies.

B. Fosfaattoestand in boven- en ondergrond ruim voldoende of hoger

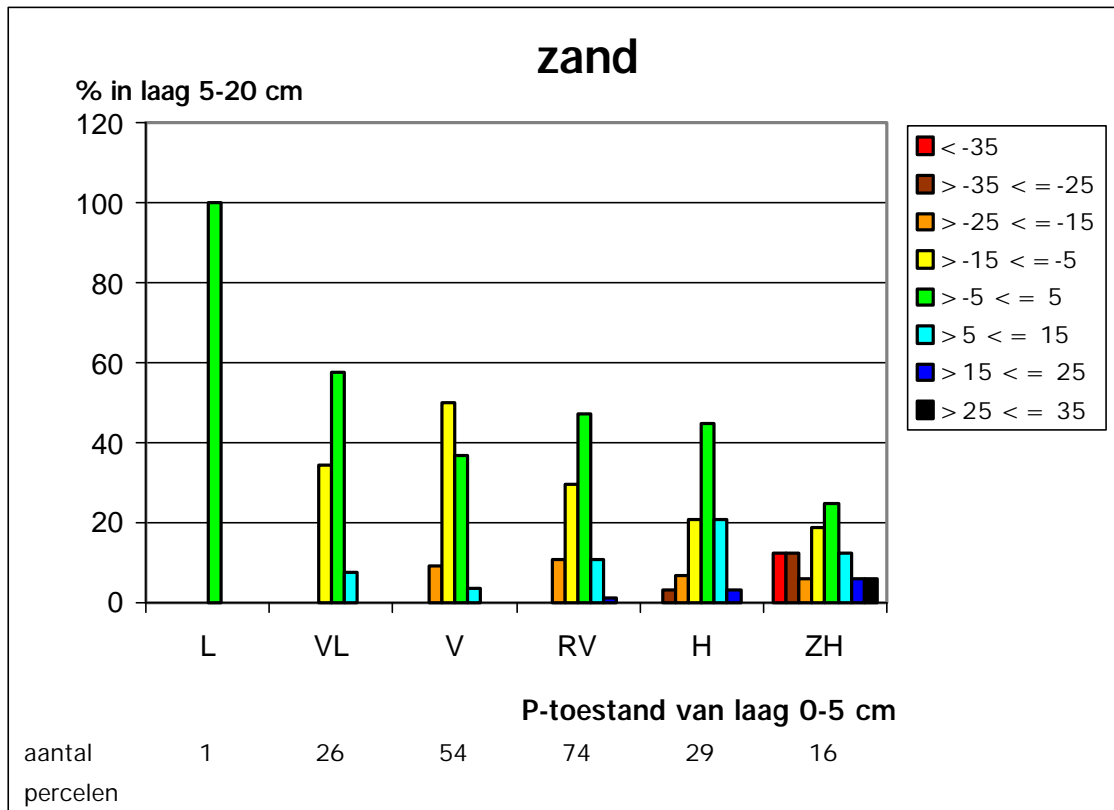
In Tabel 2.5 is een overzicht gegeven van het aantal percelen waarvan de fosfaattoestand in bodemlaag 5-20 cm vergelijkbaar is met of hoger is dan die in bodemlaag 0-5 cm.

Tabel 2.5. Aantal percelen waarvan het P-AL-getal in bodemlaag 5-20 cm vergelijkbaar is met of hoger is dan dat in laag 0-5 cm.

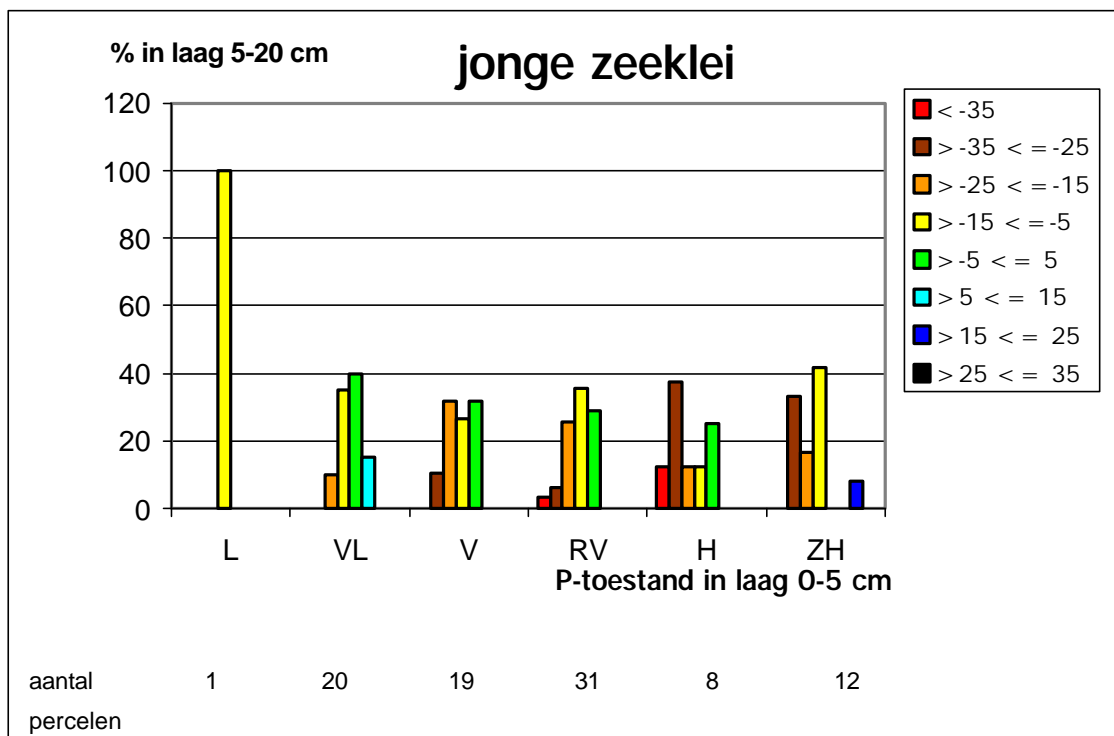
Waardering fosfaattoestand	vergelijkbaar (± 5 eenheden)	5-15 eenheden hoger	16-25 eenheden hoger	25-35 eenheden hoger
Laag	2 (0,4)	0	0	0
vrij laag	28 (6,5)	5 (1,1)	0	0
voldoende	31 (7,2)	2 (0,4)	0	0
ruim voldoende	51 (11,8)	9 (2,0)	1 (0,2)	0
hoog	16 (3,7)	6 (1,3)	1 (0,2)	0
zeer hoog	4 (0,9)	4 (0,9)	2 (0,4)	1 (0,2)

() percentage van de 430 representatieve percelen

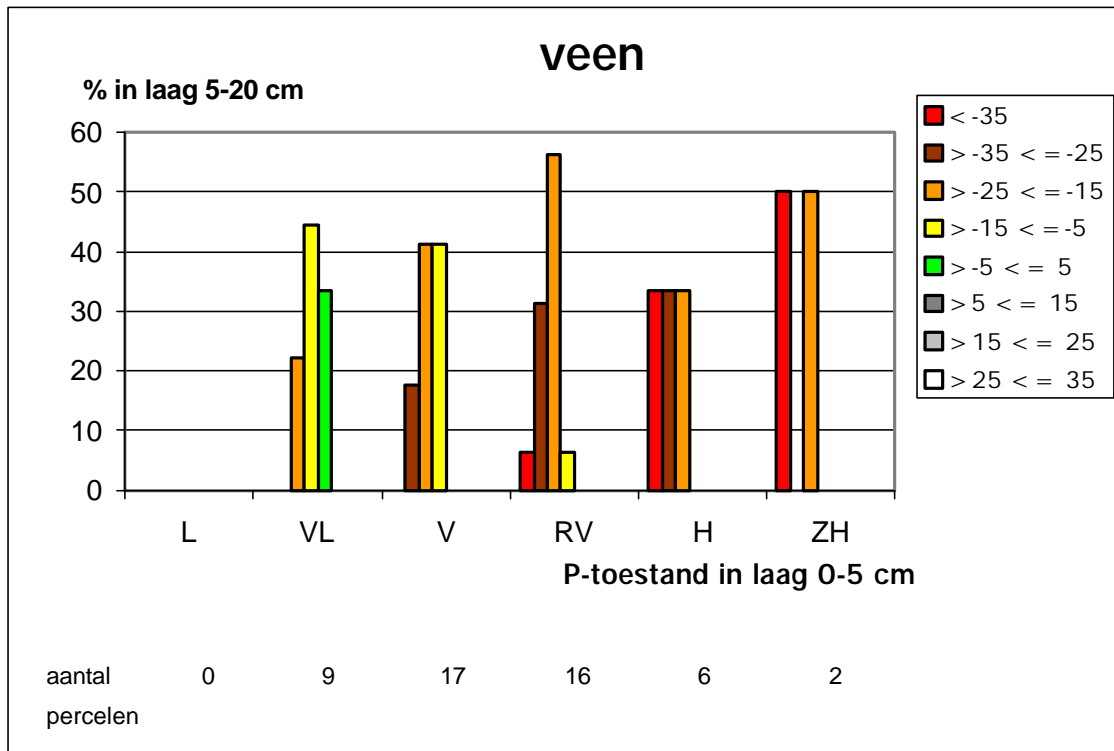
Percelen waarvan de fosfaattoestand in laag 5-20 cm hoger is dan in laag 0-5 cm komen vrijwel uitsluitend voor op zandgrond (Figuur 2.2, Figuur 2.3 en Figuur 2.4). Percelen met een vergelijkbare fosfaattoestand komen ook voor op de overige grondsoorten. Op veengrond is de fosfaattoestand in laag 5-20 cm vrijwel steeds lager dan die in laag 0-5 cm.



Figuur 2.2. Frequentieverdeling (in procenten) van het aantal percelen op zandgrond met een lager, vergelijkbaar of hoger P-AL-getal in laag 5-20 cm dan in laag 0-5 cm.



Figuur 2.3. Frequentieverdeling (in procenten) van het aantal percelen op jonge zeeklei met een lager, vergelijkbaar of hoger P-AL-getal in laag 5-20 cm dan in laag 0-5 cm.



Figuur 2.4. Frequentieverdeling (in procenten) van het aantal percelen op veen met een lager, vergelijkbaar of hoger P-AL-getal in laag 5-20 cm dan in laag 0-5 cm.

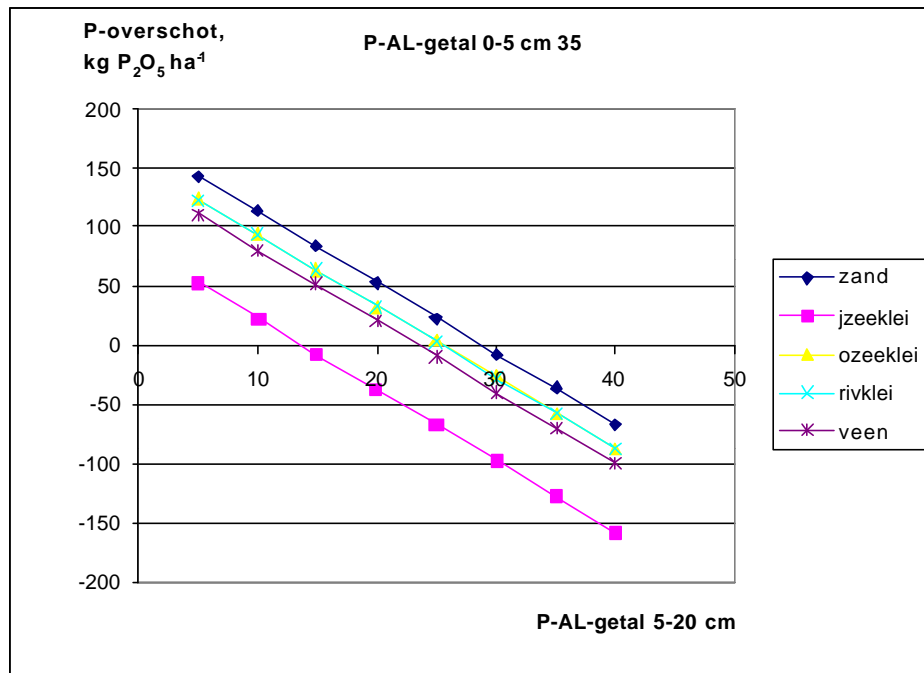
In het bovenstaande is geadviseerd om bij een voldoende fosfaattoestand in boven- en ondergrond te bemesten overeenkomstig het advies. Dit geldt ook voor de 5 percelen met een vrij lage fosfaattoestand waarvan het P-AL-getal in laag 5-20 cm hoger is dan dat in laag 0-5 cm. Deze percelen kunnen dan langer profiteren van een voldoende fosfaattoestand in laag 5-20 cm.

Op percelen met een ruim voldoende of hoge fosfaattoestand in de boven- en ondergrond neemt het risico van uitspoeling van fosfaat toe. Deze percelen kunnen geruime tijd teren op de voorraad fosfaat die in de bodem aanwezig is. Naast een kleine gift gemakkelijk opneembaar fosfaat in het voorjaar is op deze percelen een fosfaatbemesting in principe niet nodig.

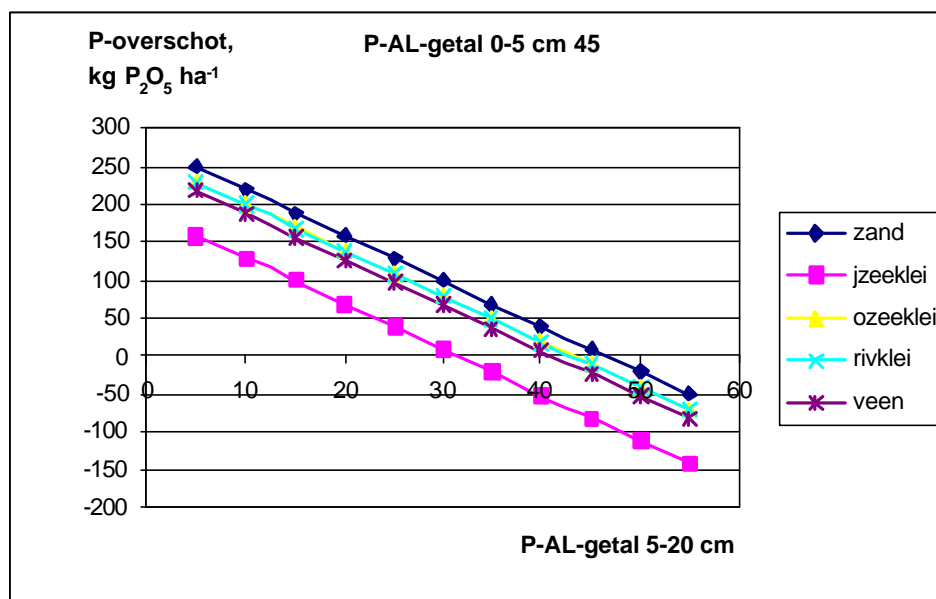
In de praktijk ligt het niet voor de hand op deze percelen in het geheel geen dierlijke mest te geven. Daarom kan het dringende advies gegeven worden op deze percelen minder dierlijke mest toe te dienen dan op de percelen met een voldoende of lagere fosfaattoestand in boven- en ondergrond.

C. Fosfaattoestand in boven- en ondergrond laag of vrij laag

Op percelen met een lage of vrij lage fosfaattoestand in laag 5-20 cm is een hoger overschot nodig om de fosfaattoestand in laag 0-5 cm op peil te houden (Figuur 2.5 en Figuur 2.6). Op deze percelen is het dus gewenst extra mest toe te dienen.



Figuur 2.5. Benodigd fosfaatoverschot (kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹) om het P-AL-getal in laag 0-5 cm op 35 te handhaven.



Figuur 2.6. Benodigd fosfaatoverschot (kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹) om het P-AL-getal in laag 0-5 cm op 45 te handhaven.

Bij de verdeling van de dunne mest over de percelen is niet alleen de fosfaatbemesting van belang maar dient de veehouder ook de voorziening met andere nutriënten, met name kali, in de gaten te houden. Op grasland was de gangbare bemonsteringsdiepte tot voor kort 0-5 cm. Met ingang van 2000 past Blgg een bemonsteringsdiepte toe van 0-10 cm. In 2002 is deze bemonsteringsdiepte ook van kracht voor het officiële bemestingsadvies. Een aanvullende bemonstering van de laag 5-20 cm of 10-20 cm geeft informatie over de hoeveelheid fosfaat die in de bodem aanwezig is. Deze kennis kan benut worden voor de verdeling van de dierlijke mest over de percelen. Op deze wijze kan een meer evenwichtige fosfaatbemesting over de percelen worden bereikt.

2.1.5 Samengevat

Uit literatuur en recent onderzoek is gebleken dat grasland fosfaat uit de ondergrond opneemt. Bij een voldoende fosfaattoestand in de boven- en ondergrond is de productiecapaciteit van het grasland hoger dan bij een lage fosfaattoestand in de boven- en ondergrond.

Bij een vrij lage of voldoende fosfaattoestand in de bovengrond, gecombineerd met een voldoende fosfaattoestand in laag 5-20 cm is geadviseerd de fosfaatbemesting uit te voeren overeenkomstig het huidige advies. De fosfaattoestand in laag 5-20 cm zal dan minder snel dalen dan bij bemesting beneden het advies. Na herinzaai kan het grasland dan meerdere jaren fosfaat uit de ondergrond benutten. De productiecapaciteit van het grasland is hierdoor groter.

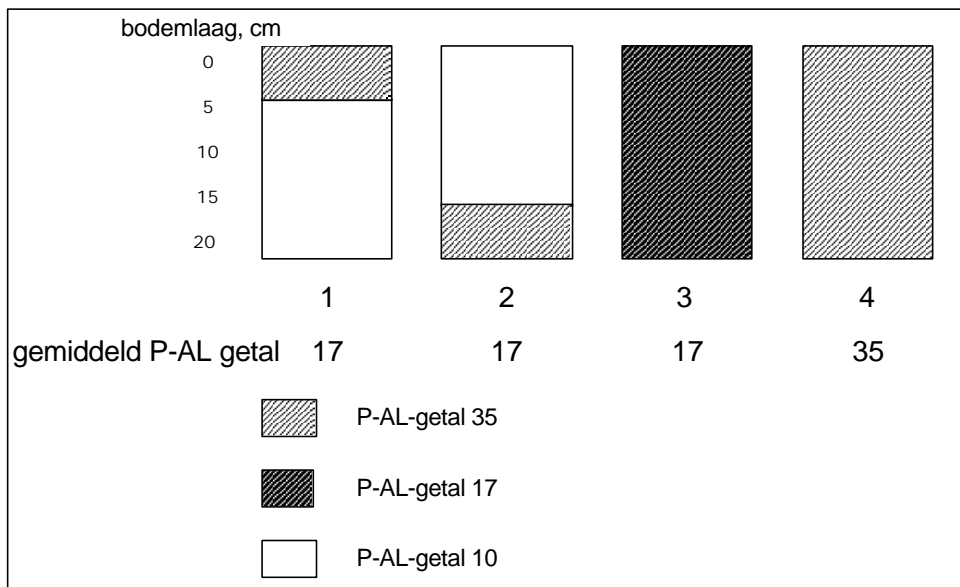
Bij een ruim voldoende of hogere fosfaattoestand in boven- en ondergrond is, naast een kleine fosfaatgift in het voorjaar, een fosfaatbemesting in principe niet nodig. Daarom is het advies op deze percelen minder dierlijke mest toe te dienen dan op percelen met een voldoende of lagere fosfaattoestand in de boven- en ondergrond. Percelen met een lagere fosfaattoestand in de ondergrond hebben juist een hogere fosfaatbemesting nodig om het P-AL-getal in laag 0-5 cm op peil te houden. Door bemonstering en analyse van de ondergrond ontstaat de mogelijkheid rekening te houden met de fosfaattoestand in de ondergrond en een meer evenwichtige fosfaatbemesting over te graslandpercelen toe te passen.

2.2 Effect van de fosfaattoestand in de ondergrond op de drogestof- en de fosfaatopbrengst

2.2.1 Vakkenproef met verschillende fosfaatprofielen

De Willigen & Van Noordwijk (1987) voerden een vakkenproef uit met 4 bodemprofielen (Figuur 2.7):

- profiel 1 met P-AL-getal in laag 0-5 cm 35 en in laag 5-20 cm 10. Het gemiddelde P-AL-getal van de gehele laag 0-20 cm was 17;
- profiel 2 was het omgekeerde van profiel 1 met P-AL-getal 10 in laag 0-15 cm en 35 in laag 15-20 cm. Het gemiddelde P-AL-getal van de gehele laag 0-20 cm was 17;
- profiel 3 was gehomogeniseerd met een P-AL-getal van 17 in de gehele laag van 0-20 cm; en
- profiel 4 was gehomogeniseerd met een P-AL-getal van 35 in de gehele laag van 0-20 cm.



Figuur 2.7. Bodemprofielen uit De Willigen & Van Noordwijk (1987).

Op basis van de bodemanalyses concludeerden De Willigen & Van Noordwijk dat het voor het P-AL-getal mogelijk is met behulp van twee analyses het P-AL-getal van de gehele laag te beschrijven. Het P-AL-getal van laag 5-20 cm kan dus berekend worden als het P-AL-getal van laag 0-5 cm en van laag 0-20 cm bekend zijn.

Het experiment is uitgevoerd gedurende twee jaren. De graszode bestond voornamelijk uit Engels raaigras (BG 3-mengsel). De fosfaatopname en de drogestofopbrengst van de profielen 1 t/m 3 waren opmerkelijk gelijk. De fosfaatopbrengst en de drogestofopbrengst van profiel 4 waren aanzienlijk hoger. Uit dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat het gras heel goed in staat is het fosfaat uit lagen dieper dan de doorgaans bemonsterde 0-5 cm te benutten. Een fosfaatrijk profiel geeft een hogere drogestofopbrengst. Het onderzoek is herhaald met twee grondwatertrappen (40 en 80 cm beneden maaiveld), 2 stikstofniveaus en 2 fosfaalniveaus. In dit onderzoek zijn de eerder verkregen resultaten bevestigd.

2.2.2 Proefveld Moergestel

Op twee proefvelden in Moergestel is gedurende 5 jaar onderzoek gedaan naar de fosfaatwerking van geïnjecteerde dunne mest (Den Boer & Wouters, 1996). De uitgangssituatie op het ene proefveld was een P-AL-getal van 19 en op het andere proefveld een P-AL-getal van 44. Van elk proefveld is een gedeelte verrijkt met fosfaat en een gedeelte verschaald. Na 5 jaar waren aanzienlijke verschillen ontstaan in fosfaattoestand tussen de objecten.

Er waren objecten aanwezig met een P-AL-getal van 10, 20, 30, 40 en 50 in laag 0-5 cm én in laag 5-20 cm. Tevens was er een object aanwezig met een P-AL-getal van 20 in laag 0-5 cm en van 10 in laag 5-20 cm.

In het vijfde jaar zijn fosfaatbemestingstrappen aangelegd van respectievelijk 0, 25, 50, 75 en 100 kg P_2O_5 ha⁻¹.

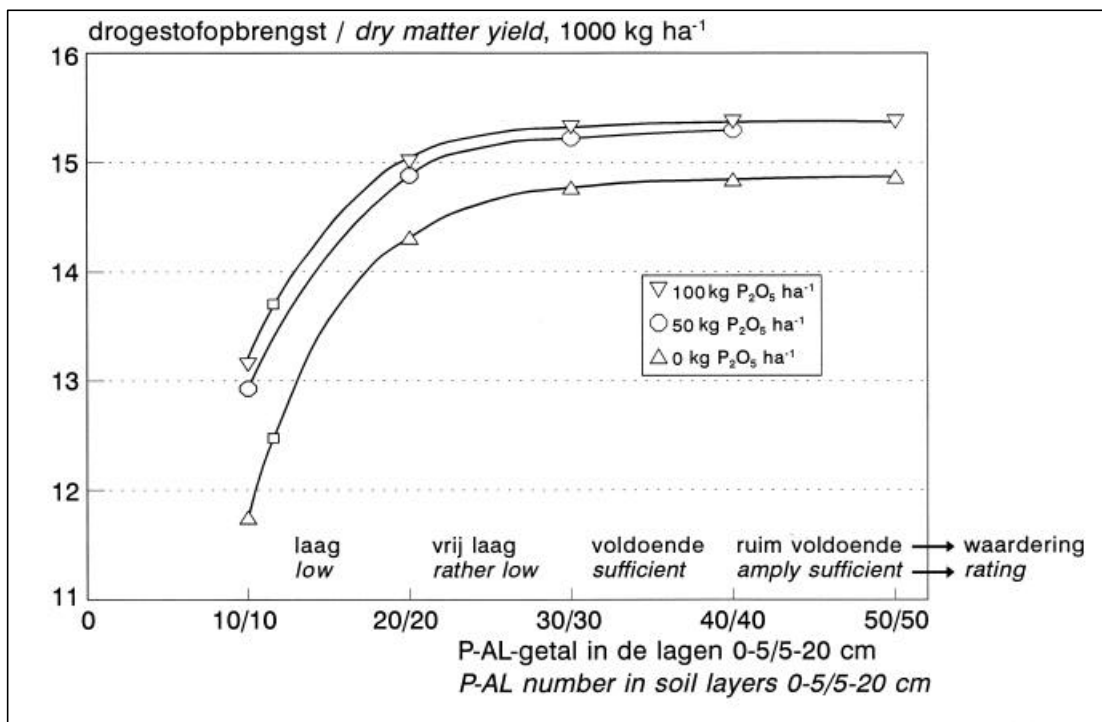
Dit onderzoek bevestigt het onderzoek van De Willigen & Van Noordwijk:

- Bij fosfaatbemesting 0 en P-AL-getal 10/10 (P-AL-getal van 0-5/5-20 cm) was de drogestofopbrengst 21 procent lager dan bij het P-AL-getal 50/50. Bij een hoge fosfaatbemesting van 44 kg P ha⁻¹ jaar⁻¹ (100 kg P_2O_5) was de drogestofopbrengst nog steeds 14 procent lager bij de grond met lage fosfaattoestand. Een goede fosfaatvoorziening vanuit het profiel is dus belangrijk voor de graslandopbrengst.

Het effect van de ondergrond op de drogestofopbrengst is te zien in het geval met P-AL-getal 20/10. Bij fosfaatbemesting van 0 en 44 kg P ha⁻¹ jaar⁻¹ komt de drogestofopbrengst beter overeen met de drogestofopbrengst die bij fosfaattoestand 10/10 wordt verkregen, dan met de opbrengst bij fosfaattoestand 20/20. Dat wil zeggen, dat het fosfaat uit de bovengrond niet volledig compenseert voor het lage gehalte in de ondergrond (Tabel 2.6, Figuur 2.8).

Tabel 2.6. Drogestofopbrengst, kg ds ha⁻¹ jaar⁻¹, bij een verschillende fosfaattoestand in boven- en ondergrond.

P-AL-getal		drogestofopbrengst (kg ha ⁻¹) bij	
laag 0-5 cm	laag 5-20 cm	0 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	100 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹
10	10	11.750	13.150
20	10	12.480	13.700
20	20	14.310	15.000



Figuur 2.8. Verband tussen het P-AL-getal in de bodemlagen 0-5 en 5-20 cm en de bij verschillende fosfaatbemesting verkregen jaarlijkse drogestofopbrengst op zandgrasland. Resultaten van een modelanalyse. De opbrengst bij P-AL-getal 20/10 in de lagen 0-5/5-20 cm is gemarkeerd door .

Zoals vermeld is op beide proefvelden een gedeelte verrijkt met fosfaat en een gedeelte verschraald. In de onderstaande Tabel 2.7 is de verandering van het P-AL-getal weergegeven in laag 0-5 cm én in laag 15-20 cm voor die objecten, waarop alleen bovengronds fosfaat is toegediend.

Tabel 2.7. P-AL-getal in de bodemlagen 0-5 en 15-20 cm voor en na 5 jaar verschrallen of verrijken van het grasland met fosfaat.

Behandeling	P-AL-getal 0-5 cm		P-AL-getal 15-20 cm	
	1989	1993	1989	1993
verschrallen	18	18	11	8
	46	33	37	34
verrijken	23	36	17	13
	46	54	39	37

Bij het verschralen is er meer fosfaat met het gewas afgevoerd dan er met kunstmest is toegediend. In laag 0-5 cm is de fosfaattoestand bij een P-AL-getal van 18 gelijk gebleven en bij een P-AL-getal van 46 sterk gedaald. Het P-AL-getal in laag 15-20 cm is in beide gevallen gedaald.

Bij het verrijken is er met kunstmest meer fosfaat gegeven dan er met het gewas is afgevoerd. In deze situatie is het P-AL-getal in laag 0-5 cm duidelijk gestegen. Ook bij verrijken is het P-AL-getal in laag 15-20 cm echter gedaald. De daling van het P-AL-getal in laag 15-20 cm was zowel bij verschralen als bij verrijken van de bovengrond met fosfaat significant. Dit duidt erop dat het gras ook bij een ruime fosfaatvoorziening in laag 0-5 cm fosfaat uit diepere bodemlagen opneemt.

2.2.3 Proefveld Bosma Zathe

Op een proefveld in Ureterp (Boons et al., in prep.) is van 1995 t/m 2000 door NMI en PV onderzoek gedaan naar interacties tussen de stikstof- en de fosfaatbemesting. Op zandgrasland is 1,5 jaar na herinzaai een proefveld aangelegd met vier stikstofniveaus: 0, 150, 300 en 450 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹, en vier fosfaattrappen: 0, 50, 100 en 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹. De bemesting is uitgevoerd met kunstmeststikstof en -fosfaat. In Tabel 2.8 is de fosfaataanvoer minus de fosfaatafvoer gegeven gedurende de proefperiode van zes jaar.

Tabel 2.8. Fosfaatbalans op zandgrasland na 6 jaar met een uiteenlopende bemesting, kg P₂O₅ ha⁻¹.

Stikstofbemesting, kg N ha ⁻¹ jaar ⁻¹	fosfaatbemesting, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ jaar ⁻¹			
	0	50	100	200
0	- 451	- 250	- 52	433
150	- 518	- 305	- 96	390
300	- 534	- 355	- 138	325
450	- 530	- 350	- 139	302

Bij alle stikstofniveaus is er zonder fosfaatbemesting aanzienlijk meer fosfaat onttrokken dan er is aangevoerd. Bij een bemesting van 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ is er meer fosfaat aangevoerd dan er met het gewas is afgevoerd. Nagegaan is in hoeverre de ontwikkeling van het P-AL-getal in de verschillende bodemlagen overeenstemt met de waarnemingen bij het onderzoek in Moergestel. Het P-AL-getal in de bodemlagen 0-5, 10-20 en 20-30 cm is weergegeven in Tabel 2.9.

Tabel 2.9. P-AL-getal in verschillende bodemlagen voor en na zes jaar met een uiteenlopende stikstof- en fosfaatbemesting (Boons et al., in prep.).

Bodem- laag, cm	stikstofbemesting, kg N ha ⁻¹ jaar ⁻¹	P-AL in 1995, beginsituatie	P-AL in 2000 bij vier P ₂ O ₅ -trappen			
			0	50	100	200
0-5	0	25	12	25	40	68
	150	25	10	20	27	59
	300	25	9	16	25	50
	450	25	8	14	22	49
10-20	0	20	12	13	13	16
	150	20	11	12	12	18
	300	20	12	13	14	18
	450	20	11	14	14	17
20-30		23	10	12	13	15

Het P-AL-getal in het profiel in de beginsituatie in het voorjaar van 1995 kwam goed overeen met dat van recent ingezaaid grasland. Het fosfaat was goed door de verschillende bodemlagen gemengd. Zonder fosfaatbemesting is het P-AL-getal in laag 0-5 cm vervolgens sterk gedaald en bij verrijking door een bemesting met $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ sterk gestegen. Bij 450N was de fosfaatonttrekking hoger dan bij 0N. Het P-AL-getal is daardoor in laag 0-5 cm bij 450N en zonder fosfaat sterker gedaald en bij $200 \text{ P}_2\text{O}_5$ minder gestegen.

In laag 10-20 cm is het P-AL-getal in alle situaties gedaald. Deze daling was het minst sterk bij de hoogste fosfaatbemesting. Er was geen verschil in P-AL-getal tussen de stikstofbemestingsniveaus. Het P-AL-getal van laag 5-10 cm nam een tussenpositie in tussen laag 0-5 en 10-20 cm. Ook het P-AL-getal in laag 20-30 cm is duidelijk gedaald.

Bij de bemesting met $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ is 100 kg gegeven voor de eerste snede en $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per volgende snede. Het advies voor de eerste snede bij een P-AL-getal van 25 is $70 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$. Als het P-AL-getal in laag 0-5 cm gaat stijgen naar een waardering 'ruim voldoende' daalt het bemestingsadvies naar $25 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ in het voorjaar. Bij een hoge toestand is het advies $15 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ in het voorjaar en 0 kg in volgende sneden. Als in de praktijk goed overeenkomstig het advies wordt bemest mag dan ook worden verwacht dat het P-AL-getal in diepere bodemlagen sneller zal dalen dan nu bij een bemesting met $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ het geval is.

Uit voorgaande literatuurstudie lijkt er een effect te zijn van het P-AL-getal in de onderlaag (10-20 cm) op de drogestofproductie en op het P-AL-getal in de bovenlaag (0-5 cm). Met dit uitgangspunt voor ogen zijn in het volgende hoofdstuk de gegevens van een aantal veldproeven opnieuw statistisch geanalyseerd om te zien of dit beeld daardoor bevestigd wordt.

3 Statistische analyse van het effect van het P-AL-getal van de ondergrond op de benodigde fosfaatbemesting

3.1 Inleiding

Het huidige fosfaatbemestingsadvies voor grasland is gebaseerd op het P-AL-getal in de bodemlaag 0-10 cm en het graslandgebruik. Uit de in het vorige hoofdstuk gepresenteerde literatuurstudie blijkt dat het P-AL-getal van de ondergrond een positieve bijdrage kan leveren aan de instandhouding van het P-AL-getal van de bovengrond en aan de drogestofopbrengst. Deze bijdrage lijkt vooral op te treden, wanneer het P-AL-getal van de bovengrond (laag 0-5 cm) laag is. Het is de vraag of voor het bemestingsadvies ook rekening moet worden gehouden met het P-AL-getal in de ondergrond, met name dat van de laag 10-20 cm. Daarvoor is het nodig om het effect van het P-AL-getal in de verschillende bodemlagen op de drogestofopbrengst en het fosfaatgehalte te kennen en na te gaan of er daarbij interacties zijn met de bemesting. De vraagstelling voor de analyse is of het effect van de fosfaatbemesting op de drogestofopbrengst en het fosfaatgehalte van het gras afhankelijk is van de fosfaattoestand van de laag 10-20 cm. Anders gezegd: of er een interactie is tussen het effect van fosfaatbemesting en P-AL-getal in de ondergrond. Vervolgens is het de vraag of deze interactie voldoende groot is om een bemonstering van de bodemlaag 10-20 cm rendabel te laten zijn.

In dit hoofdstuk wordt de statistische analyse toegelicht. In § 3.2 wordt de gebruikte dataset beschreven. In § 3.3 worden de analyse en het model beschreven. In § 3.4 worden de resultaten toegelicht en tenslotte wordt in § 3.5 een conclusie uit de statistische analyse getrokken.

3.2 Dataset

De dataset bestaat uit gegevens van een aantal verschillende veldproeven, waarin de bemesting uitsluitend via kunstmest is toegediend. In overleg met de onderzoeker is besloten om objecten met injectie van dunne rundermest in eerste instantie buiten beschouwing te laten. Deze objecten kwamen alleen bij de twee proeven in Moergestel voor, met als gevolg het risico van strengelingen en daardoor bias in de parameterschattingen. Verder is toediening van dunne mest via (diepe) injectie in de praktijk inmiddels minder gangbaar geworden. De gegevens zijn afkomstig van:

- maaiproeven voor onderzoek naar de interactie tussen de stikstof- en de fosfaatbemesting (Bommelerwaard, Bosma Zathe en Zegveld). Bij deze proeven zijn de objecten meerdere jaren gevolgd. Voor een beschrijving van deze proeven zie Van Middelkoop et al. (2004, in prep).
- 2 PR-proeven in Moergestel (PR3537 en PR3540) voor onderzoek naar het veeljarig effect van het injecteren van dunne dierlijke mest. Deze experimenten bestonden ieder uit een A- en een B-deel. Het A-deel van de proeven is in deze analyse gebruikt.

De belangrijkste experimentele factoren waren de stikstof- en fosfaatbemestingsniveaus, aangebracht via kunstmest. De keuze van de locaties en de voorbehandelingen waren erop gericht om variatie in de P-AL-toestand van de bodem te verkrijgen. Het P-AL-getal is in de bovenste lagen 0-5 en 5-10 cm afzonderlijk bepaald. Op alle locaties is het P-AL-getal in de laag 10-20 cm gemeten, op enkele locaties ook in de laag 20-30 cm. Alleen het P-AL-getal in de bovenlaag 0-10 cm (dat is het gemiddelde van de beide bovenste lagen) en het P-AL-getal in de laag 10-20 cm zijn bij de statistische analyse gebruikt.

In totaal waren 891 combinaties van P-AL-getallen van de lagen 0-10 cm ($P-AL_{0,10}$) en 10-20 cm

(P-AL₁₀₋₂₀) beschikbaar in de dataset. Deze data zijn ingedeeld in drie ongeveer even grote groepen, op basis van het P-AL-getal van de bovengrond (0-10 cm). De medianen van deze drie groepen waren respectievelijk 16, 23 en 35. Vervolgens is per groep een indeling gemaakt op basis van het P-AL-getal van de laag 10-20 cm. De medianen waren hier 9, 14 en 20. In Tabel 3.1 is de verdeling van de data over de verschillende bodemlagen weergegeven, zowel in absolute aantallen als in procenten.

Tabel 3.1. Aantal P-AL-waarnemingen per combinatie van P-AL-getal in bodemlagen 0-10 en 10-20 cm.

P-AL-getal in de laag 10-20 cm (mediaan)	P-AL-getal in de laag 0-10 cm (mediaan)		
	16	23	35
9	120 (13,5%)	90 (10,1%)	76 (8,5%)
14	143 (16,0%)	115 (12,9%)	70 (7,9%)
20	23 (2,6%)	110 (12,4%)	144 (16,2%)

Om statistisch gezien een goede uitspraak te kunnen doen over het effect van het P-AL-getal in de onder- en bovengrond op de drogestofopbrengst en het fosfaatgehalte, zouden alle combinaties van hoog en laag P-AL-getal in de boven- en ondergrond bij voorkeur ongeveer even vaak in de dataset voor moeten komen. Dit is echter niet het geval. De combinatie hoog P-AL-getal in de ondergrond bij een laag P-AL-getal in de bovengrond is maar in 2,6 procent van de gevallen aanwezig (Tabel 3.1). Ook de combinatie hoog P-AL-getal in de bovengrond en laag P-AL-getal in de ondergrond komt maar in 8,5 procent van de gevallen voor. Een hoog P-AL-getal in de bovengrond gaat vaak samen met een hoog P-AL-getal in de ondergrond. Kanttekening: echte extremen zitten er weinig in, maar toch zijn er wel voldoende combinaties met oplopend P-AL-getal. Bij een P-AL-getal in de bovengrond van 23 heeft bijvoorbeeld 10,1 procent van de waarden een P-AL-getal in de ondergrond van 9, maar ook 12,9 procent een waarde van 14 en 12,4 procent een waarde van 20 in de ondergrond. Dat betekent dat effecten van het P-AL-getal van de ondergrond in de analyse naar voren zouden moeten komen.

De hoge P-AL-getallen in de onderlaag betreffen met name de twee PR-proeven in Moergestel. De combinatie hoge P-AL in de bovenlaag en lage P-AL in de onderlaag komt vooral voor op Bosma Zathe, terwijl lage P-AL in de bovenlaag en hoge P-AL in de onderlaag vooral voorkomt op Zegveld. De combinaties hoog-laag en laag-hoog komen dus maar weinig voor en zijn gedeeltelijk gestrengeld met het verschil tussen de locaties Zegveld en Bosma Zathe.

3.3 Analyse en model

Bij de analyse zijn de resultaten uit meerdere experimenten gezamenlijk geanalyseerd om zodoende een algemeen geldend beeld te krijgen van het effect van de fosfaatbemesting en interacties met stikstofbemesting en/of de P-AL-toestand van de bodem. Het globale beeld dient als basis voor een eventueel fosfaatbemestingsadvies op basis van twee bodemlagen.

Deze aanpak, een zogenaamde meta-analyse, is in Genstat met REML gedaan. Daarbij zijn de resultaten van de verschillende experimenten bij de analyse samengevoegd, rekening houdend met verschil in proefopzet en experimentele fout. Het effect van de experimentele behandelingen wordt globaal geschat. Met andere woorden het random deel van het model hangt af van het experiment, maar het fixed deel van het model niet.

In (1) is de formule voor het fixed deel van het model voor de verwachte jaaropbrengst aan droge stof $E(Y)$ weergegeven.

$$E(Y) = \mathbf{b}_0 + \{\mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_{14}PAL_{0-10} + \mathbf{b}_{15}PAL_{10-20}\}N + \{\mathbf{b}_{11} + \mathbf{b}_{114}PAL_{0-10} + \mathbf{b}_{115}PAL_{10-20}\}N^2 + \{\mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_{21}N + \mathbf{b}_{211}N^2 + \mathbf{b}_{24}PAL_{0-10}\}P + \mathbf{b}_4PAL_{0-10} + \mathbf{b}_5PAL_{10-20} \quad (1)$$

De eerste regel van de vergelijking betreft het intercept (β_0) en het effect van de stikstofbemesting (N). De derde regel beschrijft het effect van het P-AL-getal in de boven- (PAL_{0-10}) en onderlaag (PAL_{10-20}). De tweede regel is het deel waar het om gaat, namelijk de interactie tussen de fosfaatbemesting (P) en de hoogte van het P-AL-getal in de boven- en ondergrond. Merk op dat het effect voor de jaaropbrengst aan droge stof per kg toegediend fosfaat afhangt van de stikstofbemesting en van het P-AL-getal in de bovengrond, maar niet van het P-AL-getal in de ondergrond.

In (1) zijn alleen de termen die een statistisch significante bijdrage hebben op de drogestofopbrengst ($P < 0,05$) vermeld.

In het random deel van het model, dat in deze notitie niet in detail wordt toegelicht, zijn de jaar- en locatie-effecten opgenomen.

Bovenstaande beschrijving betreft de jaaropbrengst aan droge stof. Voor de parameters drogestofopbrengst eerste snede en jaarfosfaatgehalte en fosfaatgehalte van de eerste snede hebben de modellen dezelfde structuur, maar kan het aantal termen afwijken, omdat de termen niet altijd significant zijn.

3.4 Resultaten

Met de gevonden parameterschattingen kan bestudeerd worden of het P-AL-getal van de ondergrond effect heeft op de benodigde fosfaatbemesting voor een bepaalde drogestofopbrengst en een bepaald fosfaatgehalte van het gras. Hierbij zijn de twee belangrijkste vragen:

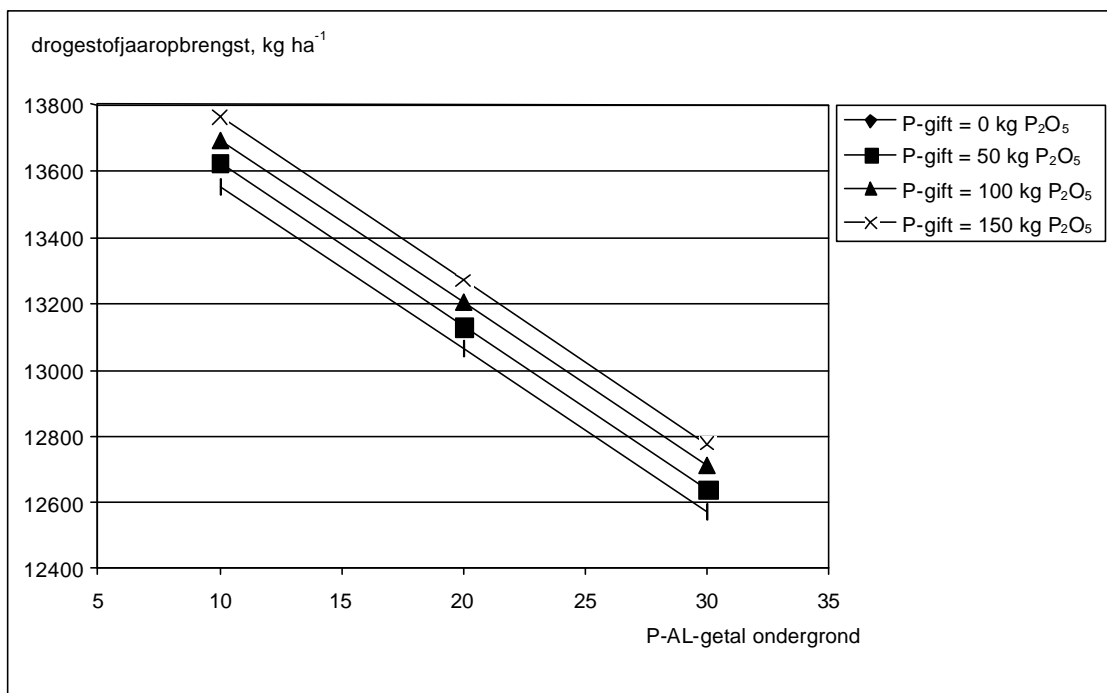
- 1) Kan bij een toenemend P-AL-getal in de ondergrond de fosfaatgift gereduceerd worden?
- 2) Kan het effect van een afnemend P-AL-getal in de ondergrond gecorrigeerd worden met behulp van een fosfaatgift?

Als beide vragen bevredigend beantwoord kunnen worden, en de besparing of de correctie op de fosfaatgift voldoende groot is, is bemonstering van de ondergrond zinvol. Op basis van de resultaten kan dan een fosfaatbemestingsadvies gegeven worden.

3.4.1 Schatting drogestofopbrengst per jaar

In deze paragraaf is inzichtelijk gemaakt wat het effect is van het P-AL-getal van de ondergrond en van de fosfaatbemesting op de totale drogestofopbrengst. Daarbij is gekozen voor een stikstofjaargift van 300 kg N ha⁻¹, een in de praktijk gangbare stikstofgift. Verder is het P-AL-getal van de bovengrond gesteld op 30, een fosfaattoestand die voor de meeste grondsoorten wordt gewaardeerd als 'voldoende'. Uit de resultaten van de berekening, die grafisch weergegeven zijn in Figuur 3.1, blijkt dat een toenemend P-AL-getal in de ondergrond geen positief, maar een negatief effect heeft op de jaaropbrengst aan droge stof. Zonder fosfaatbemesting (onderste lijn in Figuur 3.1) neemt bij toename van het P-AL-getal van de ondergrond van 10 naar 30 de drogestofopbrengst af van bijna 13,6 ton ha⁻¹ naar bijna 12,6 ton ha⁻¹, een daling van 1 ton droge stof of 7 procent. Voor deze daling is vanuit de

praktijk geen verklaring te geven. Veeleer werd een licht stijgende lijn verwacht, zoals ook blijkt uit de resultaten van enkele afzonderlijke proeven. Mogelijk houdt dit resultaat verband met de samenstelling van de dataset en de daarop toegepaste, objectieve analyse. In formule (1), die is afgeleid voor de totale dataset, heeft de constante β_{15} een negatieve waarde, terwijl de constanten β_{115} en β_5 een positieve waarde hebben. Bovendien is β_{15} groter dan β_{115} . De constanten β_{15} en β_{115} tellen zwaarder mee naarmate de stikstofbemesting hoger is; β_5 is alleen afhankelijk van het P-AL-getal van laag 10-20 cm.



Figuur 3.1. Geschatte totale drogestofopbrengst van gras ($\text{kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$) bij $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ en verschillende P-giften bij een P-AL-getal in de bovengrond van 30.

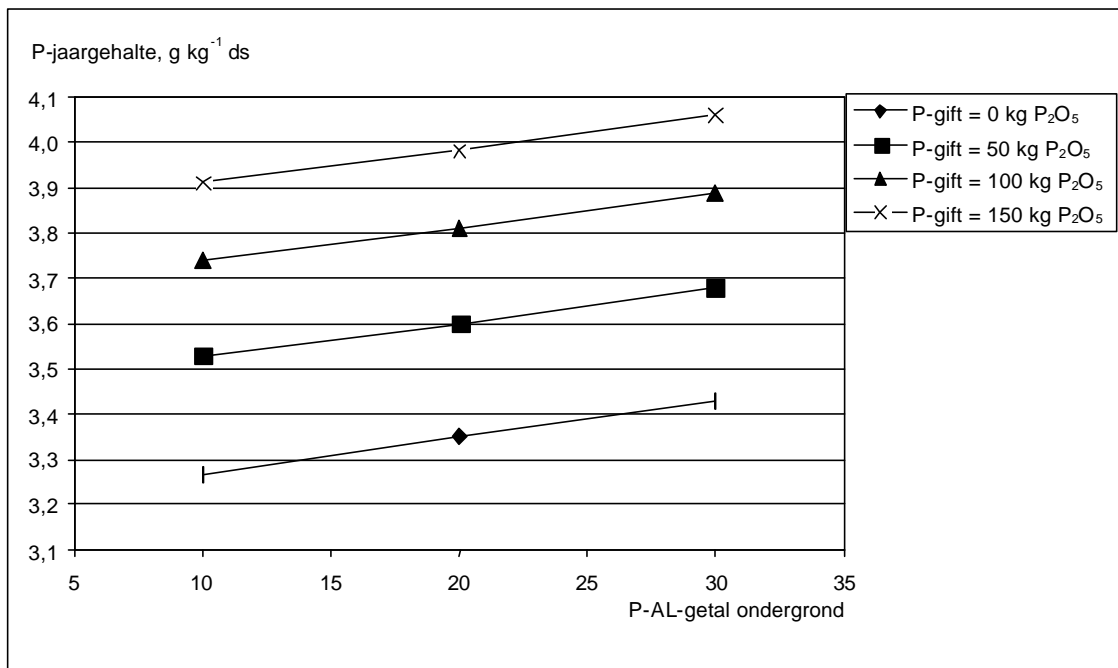
Uit Figuur 3.1 blijkt tevens dat het negatieve effect van het P-AL-getal van de ondergrond niet wordt opgeheven door een bemesting met fosfaat. Met een gift van $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ wordt de drogestofopbrengst met circa één ton verhoogd, maar dit effect is bij alle P-AL-niveaus in de ondergrond gelijk. Dat betekent dat het niveau van het P-AL-getal van de ondergrond niet leidt tot een correctie op de geadviseerde fosfaatgift.

Wanneer een soortgelijke figuur als Figuur 3.1 wordt geconstrueerd voor de situatie zonder enige stikstofbemesting, dan blijkt het P-AL-getal van de ondergrond wel een positief effect te hebben op de drogestofopbrengst. Echter, ook in die situatie leidt een hoger P-AL-getal in de ondergrond niet tot een correctie op de adviesbemesting met fosfaat.

3.4.2 Schatting van het over het jaar gemiddelde fosfaatgehalte.

Bij een stikstofjaargift van 300 kg ha^{-1} en een P-AL-getal in de bovengrond van 30, heeft een toenemend P-AL-getal in de ondergrond een licht positief effect op het over het jaar gemiddelde P-gehalte van het gras (Figuur 3.2). Zonder fosfaatgift neemt bij een toename van het P-AL-getal in de ondergrond van 10 naar 30 het P-jaargehalte toe van $3,27$ tot $3,43 \text{ g kg}^{-1} \text{ ds}$, een stijging van $0,16 \text{ g kg}^{-1} \text{ ds}$ of 5 procent. Deze geringe stijging van het P-gehalte rechtvaardigt op zich geen bemonstering en analyse van het P-AL-getal van de ondergrond, temeer daar het opbrengsteffect bij de gekozen stikstofbemesting

negatief is. Door een fosfaatbemesting wordt het gemiddelde P-gehalte van het gras verhoogd. Deze verhoging is echter bij alle niveaus van P-AL-getal in de ondergrond gelijk (Figuur 3.2).



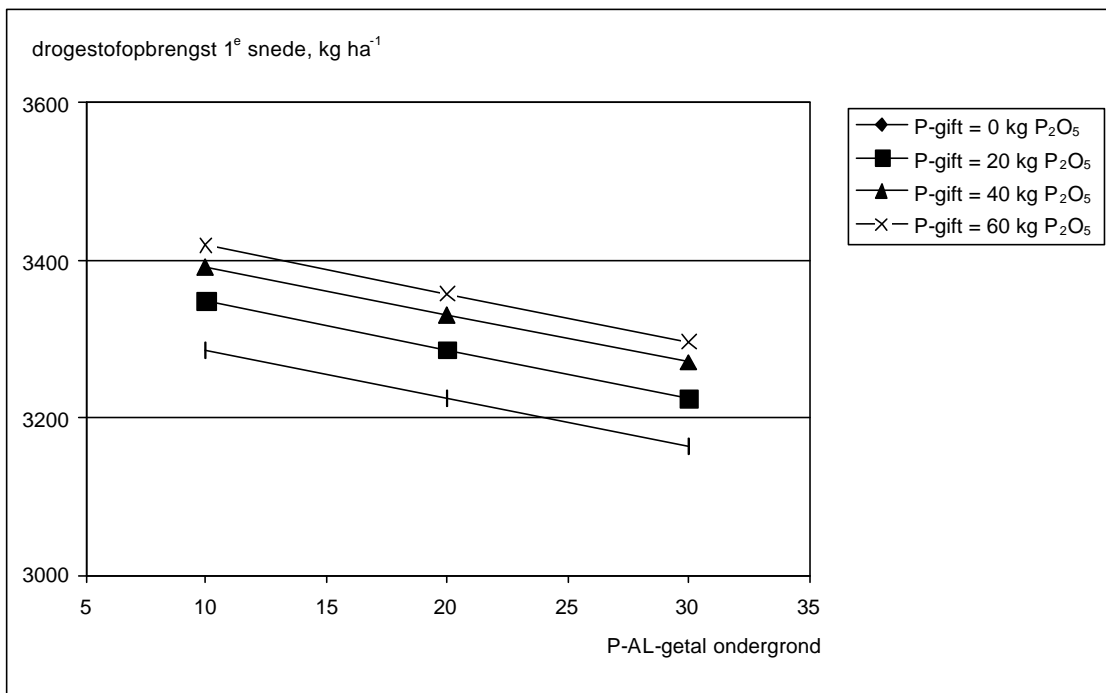
Figuur 3.2. Berekend gemiddeld P-jaargehalte van het gras ($\text{g kg}^{-1} \text{ ds}$) bij $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ en verschillende P-giften bij een P-AL-getal in de bovengrond van 30.

3.4.3 Schatting drogestofopbrengst en fosfaatgehalte van de eerste snede

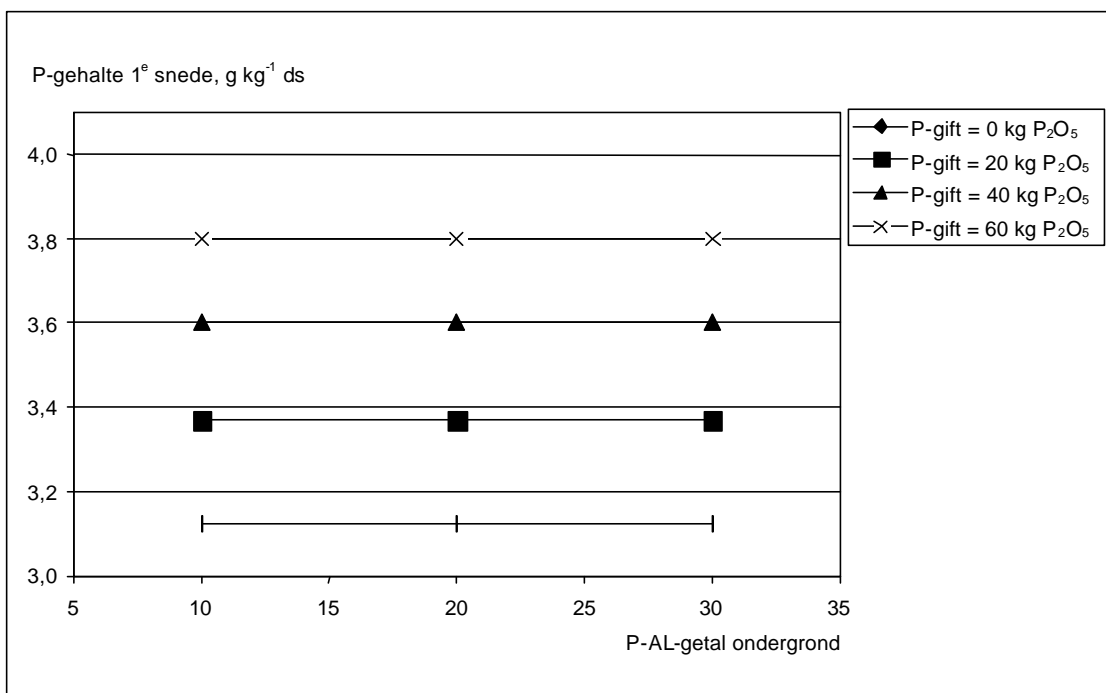
De formules voor de drogestofopbrengst en het fosfaatgehalte van de eerste snede hebben een vergelijkbare structuur als die voor de opbrengsten en gehalten op jaarbasis. Voor de eerste snede geldt dat het P-AL-getal van de bovengrond en de fosfaatbemesting relatief belangrijk zijn. In de formule voor het fosfaatgehalte van de eerste snede komen als variabelen alleen het P-AL-getal van de bovengrond en de fosfaatbemesting voor.

Landbouwkundig gezien is het logisch dat de drogestofopbrengst en het fosfaatgehalte van de eerste snede vooral reageren op de fosfaatbemesting en het P-AL-getal uit de bovengrond en nauwelijks op de fosfaattoestand van de ondergrond. Het gras heeft met name bij de begingroei in het voorjaar gemakkelijk beschikbaar fosfaat nodig (De Jong & Rinsema, 1991). Bovendien zitten de wortels in het vroege voorjaar vrijwel uitsluitend in de zodelaag (diepere wortels zijn grotendeels afgestorven in de winterperiode). Bij voldoende beschikbaar fosfaat wordt een snellere begingroei van het gras bewerkstelligd (CBGV, 2002). De hoogte van het P-AL-getal in de ondergrond is voor de groei van de eerste snede nog nauwelijks van belang.

Uit Figuur 3.3 en Figuur 3.4 blijkt ook dat de effecten die voor de jaaropbrengst aan droge stof en voor het over het jaar gemiddelde P-gehalte optreden, bij de opbrengst en het P-gehalte van de eerste snede vergelijkbaar zijn, maar dat het effect van de ondergrond dan geringer is.



Figuur 3.3. Geschatte drogestofopbrengst van de 1^e snede (kg ha⁻¹) bij 100 kg N ha⁻¹ oor de 1^e snede en verschillende P-giften bij een P-AL-getal in de bovengrond van 30.



Figuur 3.4. Berekend gemiddeld P-gehalte van het gras van de 1^e snede (g kg⁻¹ ds) bij 100 kg N ha⁻¹ voor de 1^e snede en verschillende P-giften bij een P-AL-getal in de bovengrond van 30.

3.5 *Conclusie*

Uit de formules die zijn afgeleid met behulp van de statistische analyses was niet af te leiden dat de fosfaatbemesting zou moeten worden aangepast.

Dat betekent dus dat er geen reden is om het fosfaatbemestingsadvies van grasland zodanig aan te passen dat rekening wordt gehouden met de fosfaattoestand van diepere bodemlagen dan de normaliter bemonsterde laag van 0-10 cm.

Het P-AL-getal van de ondergrond komt wel als significante factor voor in de afgeleide formules. Het heeft derhalve wel enige invloed op de drogestofopbrengst en het fosfaatgehalte.

3.6 *Slotopmerkingen*

De in dit hoofdstuk beschreven analyse is gericht op het bepalen van het globale effect van fosfaatbemesting onder invloed van onder andere de fosfaattoestand van de bodemlagen 0-10 en 10-20 cm. Het resultaat van de analyse zou de grondslag moeten zijn voor de aanpassing van een algemeen geldend fosfaatbemestingsadvies voor grasland. Op basis van de uitgevoerde, objectieve, statistische analyse bleek echter dat er geen reden is het fosfaatbemestingsadvies aan te passen.

Het resultaat van de statistische analyse sluit echter niet uit dat op bepaalde locaties en/of in bepaalde jaren de effecten anders kunnen zijn, zelfs statistisch significant. Bij analyses per jaar van bijvoorbeeld de veeljarige proef op Bosma Zathe is dat ook aangetoond (zie Bijlage 2).

Overigens heeft de analyse wel aangetoond dat het P-AL-getal van de ondergrond wel degelijk effect heeft op sommige parameters, soms zelfs negatief. Alleen leiden deze effecten niet tot aanpassingen in het fosfaatbemestingsadvies.

Verder kleeft er aan de dataset ook een aantal beperkingen, zoals het geringe aantal locaties, het feit dat niet alle combinaties evenveel voorkomen, etc.

4 Evaluatie

Het Nederlandse fosfaatbestedingsadvies voor grasland is gebaseerd op de fosfaattoestand (het P-AL-getal) van de bodemlaag 0-10 cm en op het graslandgebruik (CBGV, 2002). Uit een aantal onderzoeken, voornamelijk uitgevoerd in de negentiger jaren van de vorige eeuw, kwam duidelijk naar voren dat ook de fosfaattoestand van de bodemlaag 10-20 cm een rol speelt bij de voorziening van het gewas met fosfaat. De onderzoeksresultaten gaven aan dat het P-AL-getal van de laag 10-20 cm

- invloed heeft op de ontwikkeling van het P-AL-getal van de bodemlaag 0-10 cm;
- invloed heeft op de hoeveelheid fosfaat die nodig is om de fosfaattoestand van de bodemlaag 0-10 cm te handhaven (het benodigde fosfaatoverschot);
- invloed heeft op de drogestofproductie van grasland; en
- invloed heeft op het fosfaatgehalte van het gewas.

Deze effecten zijn met name merkbaar (en meetbaar) bij lage fosfaattoestand van de bovengrond.

In Hoofdstuk 2 van dit rapport zijn genoemde effecten uitvoerig beschreven (kwalitatief en kwantitatief).

Op basis van de literatuurstudie en eigen ervaringen uit fosfaatbestedingsonderzoek is de conclusie dat in het fosfaatbestedingsadvies voor grasland mogelijk rekening kan worden gehouden met de fosfaattoestand van de ondergrond. Bij de opstelling van de fosfaatbestedingsadviezen in de vijftiger en zestiger jaren was dit niet relevant, omdat toen de fosfaattoestand van de ondergrond over het algemeen laag was. De hoeveelheid dierlijke mest per ha was veel lager dan tegenwoordig, mestinjectie werd nog niet toegepast en graslandvernieuwing was evenmin gangbaar. Daardoor bleef de fosfaattoestand van de laag 10-20 cm veelal op het 'natuurlijke', over het algemeen lage niveau. Doordat tegenwoordig veel dierlijke mest per ha grasland beschikbaar is en doordat op grote schaal graslandvernieuwing wordt toegepast (Aarts et al., 2002) is in veel gevallen de fosfaattoestand van de ondergrond aanmerkelijk toegenomen.

Vervolgens is het de vraag op welke wijze in het bemestingsadvies rekening kan worden gehouden met de fosfaattoestand van de ondergrond. Daartoe zijn gegevens van een aantal fosfaatbestedingsproeven, waarbij de fosfaattoestand van zowel de bovengrond als de ondergrond bekend was, statistisch bewerkt. In Hoofdstuk 3 van dit rapport is dit beschreven. De uitkomst van dit onderzoek is dat de fosfaattoestand van de laag 10-20 cm inderdaad een effect heeft op de drogestofopbrengst, maar dat dit vaak negatief is en onafhankelijk is van de fosfaatbemesting. Dat betekent derhalve dat, bij hoge fosfaattoestand van de ondergrond, er op basis van de analyse van de gebruikte dataset geen aanleiding is om de fosfaatbemesting te verlagen noch om bemonstering en analyse van de ondergrond te adviseren.

Uit de graslandkunde is bekend dat de actieve graswortels in het voorjaar vrijwel uitsluitend in de zodelaag voorkomen. De zodelaag komt overeen met de bodemlaag 0-5 cm. Jonge graswortels zullen daarom in het voorjaar niet snel fosfaat uit de laag 10-20 cm opnemen. Uit het bemestingsonderzoek is het bekend dat gras juist in het voorjaar de grootste fosfaatbehoefte heeft (CBGV, 2002). Het accent van de fosfaatbemesting ligt dan ook op de eerste gift, ruim voor de oogst van de eerste snede. Uit het in dit rapport gepresenteerde onderzoek blijkt dat er geen aanleiding is om dit bemestingsadvies te differentiëren op basis van het P-AL-getal van de bodemlaag 10-20 cm.

Op basis van onderzoeksresultaten van afzonderlijke proefvelden is echter gebleken dat met name bij een lage of vrij lage fosfaattoestand van de bovengrond en een (relatief) hoge fosfaattoestand van de

ondergrond het fosfaat uit de ondergrond significant bijdraagt aan de drogestofproductie van het gras en indirect aan een verhoging van het P-AL-getal van de bovengrond. Aanpassen van het bemestingsadvies is echter niet nodig, omdat via de bijdrage van fosfaat uit de ondergrond aan het P-AL-getal van de bovengrond het bemestingsadvies op deze percelen na verloop van tijd automatisch lager wordt.

De conclusies en aanbevelingen van het in dit rapport beschreven onderzoek zijn als volgt samen te vatten:

1. Fosfaat uit de bodemlaag 10-20 cm heeft soms een positief, soms een negatief effect op de drogestofproductie van gras.
2. Een hoog P-AL-getal in de laag 10-20 cm leidt ertoe dat het P-AL-getal van de bovengrond sneller stijgt of minder snel daalt, waardoor het bemestingsadvies gemiddeld lager blijft dan bij percelen met een laag P-AL-getal in de bodemlaag 10-20 cm.
3. Er is geen aanleiding om het fosfaatbemestingsadvies voor grasland te differentiëren op basis van de fosfaattoestand van twee bodemlagen (0-10 en 10-20 cm).
4. Voor rundveehouders kan het van belang zijn om de fosfaattoestand van de bodemlaag 10-20 cm te kennen, omdat ze met hun fosfaatbemestingsstrategie (over meer dan één jaar) daarmee rekening kunnen houden.

5 Literatuur

- Aarts HFM, Bussink DW, Hoving IE, Van der Meer HG, Schils RLM & Velthof GL (2002) Milieutechnische en landbouwkundige effecten van graslandvernieuwing, Een verkenning aan de hand van praktijksituaties, Plant Research International B.V. Wageningen, Rapport 41A, 32 pp.
- Boons-Prins ER, Van Dijk TA, Den Boer DJ & Van Middelkoop JC (2004) Suboptimale N- en P-bemesting van grasland; proefveld Bosma Zathe 1995-2000. In prep.
- Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (1998) Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Themaboek november 1998, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad, 53 pp.
- Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (2002) Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Internet: <http://www.bemestingsadvies.nl>.
- Den Boer DJ & Wouters AP (1996) Effect of available P in soil and fertilizer P on yield and P content of herbage. In: Parente G, Frame J & Orsi S (eds.) Grassland and land use systems. Proceedings of the 16th EGF meeting, 377-381.
- Den Boer, DJ & Van Middelkoop JC (1997) Verandering van de fosfaattoestand en fosfaat in diepere bodemlagen van grasland. In: Beldman ACG (ed.). Management op Duurzame Melkveebedrijven, 6, 37-41.
- Den Boer DJ & Van Middelkoop JC (2001) Deel I Verandering van de fosfaattoestand van de grond. Een analyse op perceelsniveau van melkveebedrijven die deelnamen aan Praktijkcijfers I. Uit: Fosfaattoestand en -uitspoeling in afhankelijkheid van gebruik en bodemvruchtbaarheid. NMI-rapport 364.97, 78 pp.
- De Jong JA & Rinsema WT (1991) Bemesting en meststoffen. Educaboek, Culemborg, ISBN 90-11-010108, 229 pp.
- De Willigen P & Van Noordwijk M (1987) Roots, plant production and nutrient use efficiency. PhD thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 282 pp.
- Oenema O & Van Dijk TA (1994) Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Project Verliesnormen, deelrapport I. 102 pp.
- Van Dijk TA, Postmus J & Prins WH (1990) Long-term application of farmyard manure on grassland: effects on herbage yield and distribution of N and P in the soil profile, Meststoffen 1990-3, 29-32.
- Van Middelkoop JC et al. (2004) Effect van N- en P₂O₅-bemesting op opbrengst en samenstelling van gras. Verslag van vier veldproeven. In prep.
- Wadman WP, Sluijsmans CMJ & De la Lande Cremer LCN (1987) Value of animal manures: changes in perception. In: Van der Meer HG, Unwin RJ, Van Dijk TA & Ennik GC (eds) Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences 30, 1-16.

Bijlage 1. Toegepaste modellen

Model voor het schatten van het jaargemiddelde fosfaatgehalte van de dataset.

- Genstat - Release 6.1 - G. André - 24/10/03 - 15:05:53 -

**** REML Variance Components Analysis ****

Response Variate : PGEHjr

Fixed model:

Constant+PAL010+PAL1020+Nkmjr+Nkmjr2+P2O5kmjr+Pkmjr2+
 PAL010.PAL1020+PAL010.Nkmjr+PAL1020.Nkmjr+PAL010.Nkmjr2+
 PAL1020.Nkmjr2+PAL010.P2O5kmjr+
 PAL1020.P2O5kmjr+Nkmjr.P2O5kmjr+
 Nkmjr2.P2O5kmjr+PAL010.Pkmjr2+
 PAL1020.Pkmjr2+Nkmjr.Pkmjr2+
 Nkmjr2.Pkmjr2

Random model :

exp+Meetjaar+exp.Herh+exp.Meetjaar+exp.Herh.Meetjaar+exp.PAL010+exp.PAL1020+
 exp.PAL010.PAL1020

Number of units : 891

* Separate residual terms for each level of experiment factor: exp

* Sparse algorithm with AI optimisation

* Units with missing factor/covariate values included

* Units with missing data values included

* Covariates not centred

*** Residual models for multi-experiment analysis ***

Experiment factor: exp

Experiment Term	Factor	Model	Order	Nrows	
Bommelerwaard A					
	code.Meerjaarcodes	Identity	0	51	
	Meetjaar	Auto-regressive (het)	1	5	
Bosma Zathe A					
	code.Meetjaarcodes	Identity	0	48	
	Meetjaar	Auto-regressive (het)	1	6	
PR3537 A	Residual	Whole term	Identity	0	64
PR3537 B	Residual	Whole term	Identity	0	20
PR3540 A	Residual	Whole term	Identity	0	64
PR3540 B	Residual	Whole term	Identity	0	20
Zegveld A	code.Meetjaarcodes	Identity	0	36	
	Meetjaar	Auto-regressive (het)	1	5	

*** Estimated Variance Components ***

Random term	Component	S.e.
exp	0.28253	0.15896
Meetjaar	0.02860	0.02471
exp.Herh	0.00112	0.00150
exp.Meetjaar	0.03292	0.01722
exp.Herh.Meetjaar	0.00448	0.00174
exp.PAL010	0.00022	0.00016
exp.PAL1020	0.00000	BOUND
exp.PAL010.PAL1020	0.00000	0.0000

Model voor het schatten van fosfaatgehalte van de eerste snede van de dataset.

Response Variate : PGH1e (fosfaatgehalte van de eerste snede)

***** Estimated Variance Components *****

Random term	Component	S.e.
exp	0.06886	0.08167
Meetjaar	0.09655	0.05467
exp.Herh	0.00000	BOUND
exp.Meetjaar	0.02901	0.01774
exp.Herh.Meetjaar	0.01722	0.00511
exp.PAL010	0.00013	0.00011
exp.PAL1020	0.00006	0.00012
exp.PAL010.PAL1020	0.00000	0.00000

Model voor het schatten van de totale drogestofopbrengst van de dataset.

Response Variate : DSt (totale drogestof opbrengst per jaar)

***** Estimated Variance Components *****

Random term	Component	S.e.
exp	1.4949	1.4984
Meetjaar	0.2853	0.5632
exp.Herh	0.3767	0.1495
exp.Meetjaar	1.4612	0.6747
exp.Herh.Meetjaar	0.0550	0.0288
exp.PAL010	0.0008	0.0008
exp.PAL1020	0.0007	0.0011
exp.PAL010.PAL1020	0.0000	BOUND

Model voor het schatten van de drogestofopbrengst van de eerste snede van de dataset.Response Variate : DSt1e (drogestofopbrengst 1^e snede)***** Estimated Variance Components *****

Random term	Component	S.e.
exp	0.0000	BOUND
Meetjaar	0.1422	0.1469
exp.Herh	0.0268	0.0174
exp.Meetjaar	0.2833	0.1226
exp.Herh.Meetjaar	0.0436	0.0128
exp.PAL010	0.0001	0.0001
exp.PAL1020	0.0000	BOUND
exp.PAL010.PAL1020	0.0000	BOUND

Bijlage 2. Resultaten van modelberekeningen per jaar voor proefveld Bosma Zathe

jaar	ds-opbrengst	input is: gen out REML AI logds per jaar 08-11-02.doc					
	random Herh	residual variance					
		components					
met	n	estimate	deviance	d.f.	wald/d.f.	chisq	R ²
1995	leeg model	59	0,0533	-107,97			
	nbem	40	0,00249	-163,97	1	834,52	<0,001
	pbem				1	2,33	0,127
	nbem.pbem				1	0,01	0,910
1996	nbem	84	0,00277	-342,03	1	1040,23	<0,001
	nbem2				1	25,19	<0,001
	pbem				1	47,29	<0,001
	pbem2				1	0,15	0,694
	nbem.pbem				1	11,20	<0,001
	nj_P_AL_0_5				1	3,00	0,083
1997	nbem	84	0,00366	-311,43	1	414,80	<0,001
	nbem2				1	48,78	<0,001
	pbem				1	22,11	<0,001
	pbem2				1	0,04	0,843
	nbem.pbem				1	1,65	0,199
	nj_P_AL_10_20				1	2,87	0,090
	pbem.nj_P_AL_10_20				1	5,31	0,021
1998	nbem	84	0,00326	-289,18	1	237,08	<0,001
	nbem2				1	0,50	0,480
	pbem				1	23,68	<0,001
	pbem2				1	1,49	0,222
	nbem.pbem				1	2,21	0,137
	nj_P_AL_0_5				1	18,98	<0,001
	pbem.nj_P_AL_0_5				1	0,18	0,673
	nj_P_AL_10_20				1	7,03	0,008
	pbem.nj_P_AL_10_20				1	4,85	0,028
1999	nbem	84	0,00321	-303,1	1	641,37	<0,001
	nbem2				1	59,35	<0,001
	pbem				1	21,69	<0,001
	pbem2				1	0,00	0,969
	nbem.pbem				1	0,19	0,666
	nj_P_AL_0_5				1	0,03	0,868
	nj_P_AL_10_20				1	2,49	0,114
	pbem.nj_P_AL_10_20				1	1,97	0,160
2000	nbem	84	0,00215	-321,72	1	273,14	<0,001
	nbem2				1	73,10	<0,001
	pbem				1	49,50	<0,001
	pbem2				1	1,60	0,206
	nbem.pbem				1	6,51	0,011
	nj_P_AL_0_5				1	7,22	0,007
	pbem.nj_P_AL_0_5				1	12,32	<0,001
	nj_P_AL_10_20				1	5,60	0,018
	pbem.nj_P_AL_10_20				1	2,61	0,106

In bovenstaande tabel staan modellen om de totale drogestofopbrengst per jaar van gras van de proef van 1995 tot 2000 op Bosma Zathe te schatten. In de eerste kolom staat het jaar. In de tweede kolom staan de termen die in het model zijn opgenomen. In de een na laatste kolom staat de chi-kwadraatwaarde per term. Als de waarde onder de 0,05 ligt is de term significant. In 1995 speelt alleen de stikstofbemesting een significante rol voor de drogestofopbrengst. In 1997 en 1998 is te zien dat pbem.nj_P_AL_10_20, dus het P-AL-getal in laag 10-20 cm, een significante rol speelt. In 1999 en 2000 is deze term weer niet significant terwijl nj_P_AL_10_20 dit wel is in 1999.